

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

## **Fakulta strojní**

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie  
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů

### **Hodnocení vlivu vytvrzování na pevnost lepeného spoje**

### **The evaluation of influence of hardening to strength of adhesive bonded joints.**

Luboš Smatana  
KSP - TP - 772

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Mirko Král, CSc.

Konzultanti diplomové práce: Ing. Pavel Hisem, Ph.D.

Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.

#### Rozsah práce a příloh:

Počet stran	90
Počet tabulek	10
Počet grafů	42
Počet obrázků	22
Počet příloh	10

**ANOTACE**  
**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra strojírenské technologie**  
**Oddělení tváření kovů a plastů**

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství  
Diplomant: Luboš Smatana  
Téma práce: Hodnocení vlivu vytvrzování na pevnost lepeného spoje  
The evaluation of influence of hardening to strength  
of adhesive bonded joints.  
Číslo DP: KSP - TP - 772  
Vedoucí DP: Doc. Ing. Mirko Král, CSc.  
Konzultanti: Ing. Pavel Hisem, Ph.D.  
Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.

**Abstrakt:**

Tématem diplomové práce je zhodnocení vlivu vytvrzování na pevnost lepeného spoje. V teoretické části jsou vysvětleny základní pojmy v oblasti lepeného spoje a použití lepených spojů. V experimentální části je za určitých podmínek změřena pevnost lepeného spoje a vyhodnocen typ porušení lepeného spoje. Ze získaných hodnot jsou sestaveny tabulky a grafy. V závěru diplomové práce jsou formulovány získané poznatky.

**Abstract:**

The theme of this diploma work is the evaluation of influence of hardening to strength of adhesive bonded joints. In the general part there are explained essential terms in the area of adhesive bonded joints and the usage of adhesive bonded joints. In the experimental part there is in specific conditions measured the strength of adhesive bonded joints and is evaluated the type of defective of adhesive bonded joints. From the acquired values there are graphs and charts. In the conclusion of this diploma work there are formed obtained pieces of knowledge.

**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 14. května 2007

.....

Luboš Smatana

Heroutova 1736/36

470 01 Česká Lípa

**Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Pavlu Hisemovi, Ph.D.,  
Ing. Michaela Kolnerové, Ph.D. a Ing. Pavlu Doubkovi, Ph.D. za cenné  
informace a odbornou pomoc, které mi poskytli při zpracování mé  
diplomové práce.**

## **Obsah**

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	8
<b>1. Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Teoretická část</b> .....	<b>11</b>
2.1. Charakteristika lepeného spoje .....	11
2.1.1. Lepené spoje .....	11
2.1.2. Výhody a nevýhody lepených spojů .....	11
2.1.3. Vznik lepeného spoje.....	13
2.1.3.1. Základní pojmy adheze a koheze .....	14
2.1.3.2. Teorie adheze.....	15
2.1.4. Reologické vlastnosti lepidel.....	17
2.1.5. Konstrukční uspořádání lepených spojů .....	21
2.1.6. Zkoušky lepených spojů .....	22
2.1.7. Typy porušení lepeného spoje.....	23
2.2. Lepidla .....	24
2.2.1. Co je lepidlo.....	24
2.2.2. Složky lepidel.....	25
2.2.3. Rozdělení lepidel .....	25
2.2.3.1. Kaučukovitá lepidla.....	26
2.2.3.2. Epoxidová lepidla .....	28
2.3. Použití lepených spojů ve stavbě automobilových karoserií .....	29
2.4. Sortiment plechů používaných pro karosářské výlisky .....	31
2.4.1. Vývoj ocelových plechů pro automobilový průmysl.....	31
2.4.2. Povrchové úpravy plechů .....	33
<b>3. Experimentální část</b> .....	<b>35</b>
3.1. Cíl experimentu .....	35
3.2. Charakteristika použitých materiálů .....	37
3.2.1. Použité substráty .....	37
3.2.2. Použité mazivo .....	38
3.2.3. Použitá lepidla .....	38
3.3. Zjištění základních mechanických hodnot substrátů .....	39
3.4. Postup přípravy vzorků .....	39

<b>4. Výsledky experimentu</b> .....	46
4.1. Pevnost lepeného spoje dle normy PV 12.05 .....	46
4.1.1. Betamate 1496V .....	46
4.1.2. SikaPower 490/7 .....	48
4.1.3. Betaguard RB 10 BV SKODA .....	50
4.1.4. Terostat 5196 VW-25 .....	52
4.2. Typ porušení lepeného spoje dle ČSN ISO 10365 .....	54
4.3. Pevnost lepeného spoje po KTL dle normy PV 12.05 .....	57
4.4. Typ porušení lepeného spoje po KTL dle ČSN ISO 10365 .....	58
4.5. Hodnocení naměřených výsledků .....	58
4.5.1. Hodnocení lepidla Betamate 1496V .....	59
4.5.2. Hodnocení lepidla SikaPower 490/7 .....	62
4.5.3. Hodnocení lepidla Betaguard RB 10 BV SKODA .....	65
4.5.4. Hodnocení lepidla Terostat 5196 VW-25 .....	69
4.5.5. Hodnocení po KTL .....	72
4.6. Srovnání pevnosti pro jednotlivé substráty .....	74
4.7. Porovnání pevnosti pro jednotlivá lepidla .....	78
<b>5. Diskuze výsledků</b> .....	82
<b>6. Závěr</b> .....	87
<b>7. Literatura</b> .....	89
<b>8. Seznam příloh</b> .....	90

## Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	Význam
Al	Hliník
C	Uhlík
Ti	Titan
Nb	Niob
Zn	Zinek
CP	Complex Phase
BH	Bake Hardening
DP	Dual Phase
TRIP	Transformační indukovaná plasticita
EG	Elektrolyticky pozinkovaný plech
HDG	Žárově pozinkovaný plech
HDG + NIT	Žárově pozinkovaný plech s mikrofosfátem
IF	Interstials Free
atd.	A tak dále
tab.	Tabulka
obr.	Obrázek
např.	Například
Tv	Teplota vytvrzování [°C]
tv	Doba vytvrzování [min]
$\tau$	Smyková pevnost [MPa]
s	Směrodatná odchylka [MPa]
l	Délka vzorku [mm]
b	Šířka vzorku [mm]
p	Přeplátování [mm]
t	Tloušťka vzorku [mm]
AF	Adhezivní porušení
CF	Kohezní porušení
SCF	Speciální kohezní porušení
$\alpha$	Krajový (elevační) úhel
P	Fosfor
KTL	Katodforezní lakovací linka

$T_g$	Teplota zeskelnění
$T_f$	Teplota vizkózního toku
$v$	Měrný objem
$\varepsilon_r$	tažnost
$E$	modul pružnosti



## **1. Úvod** [1, 2, 3]

Poslední léta jsou charakterizována prudkým rozvojem technologie a techniky lepení ve strojírenství, v leteckém a automobilovém průmyslu, stavebnictví a dalších odvětvích průmyslu. Upřednostňování lepených spojů v dnešní době před spoji nýťovanými, svařovanými, šroubovanými je v tom, že lepené spoje poskytují nové kombinační možnosti a dovolují získat spoje takových tvarů a vlastností, které nejsou dosažitelné běžnými způsoby spojování.

Lepení kovů zaznamenalo v posledních několika letech výrazný rozvoj především v oblasti automobilového průmyslu. V současné době se technologie lepení stala nepostradatelnou při stavbě karoserií osobních i nákladních automobilů. Lepené spoje významně zvyšují pevnost i tuhost konstrukčních prvků a celkovou bezpečnost konstrukce karoserie při jejím namáhání v provozním režimu. Použitím lepených spojů tenkých plechů vyšší pevnosti jako náhrady za nýťování nebo šroubování, je možné v důsledku rozložení zatížení v lepeném spoji snížit hmotnost konstrukce karoserie v případě namáhání na vzpěr a na smyk.

Vlastní proces je ovlivňován řadou faktorů: teplotou, drsností povrchu materiálu, způsobem odmaštění a očištění, tloušťkou vrstvy lepidla a dalšími. Tyto faktory ovlivňují vlastnosti lepeného spoje a to hlavně pevnost spoje.

Cílem řešení diplomové práce bylo z hodnocení vlivu vytvrzování na pevnost lepeného spoje a vyhodnocení jednotlivých typů porušení lepených spojů. Pro testování nových typů lepidel byly použity podmínky, které mají simulovat průběh teploty a doby vytvrzování při sušení laku na lince KTL (katodoforní lakovací linka) ve Škodě Auto Mladá Boleslav. Úkolem této diplomové práce bylo zjistit vliv podmínek vytvrzování na pevnost lepeného spoje zvýšením nebo snížením tepelného zatížení vůči standardním podmínkám ve Škodě Auto Mladá Boleslav. Tyto zjištěné hodnoty pak porovnat ze vzorky, které prošly přímo linkou KTL ve Škodě Auto Mladá Boleslav.

## 2. Teoretická část

### 2.1. Charakteristika lepeného spoje

#### 2.1.1. Lepené spoje

Lepení je spojování součástí v nerozebíratelný celek, při kterém může mít lepený spoj malou nebo velkou bodovou či křivkovou stykovou plochu. Pro svoji jednoduchost a hlavně ekonomickou dostupnost se řadí mezi silně rozvíjející metody spojování.

#### 2.1.2. Výhody a nevýhody lepených spojů [1, 2]

Lepení je důležitým doplňkem tradičních metod spojování (svařování, nýtování a jiných). Například samotné svařování nemůže být zcela nahrazeno lepením, ale často je nutné jejich společné použití. Lepení řeší především ty případy, které nelze řešit jinými způsoby.

Jako každá technologie spojování, má lepení řadu výhod i nevýhod.

##### Výhody lepených spojů:

- Zvýšení pevnosti.
- Zvýšení bezpečnosti při poruše u lepené konstrukce.
- Snížení výrobních nákladů.
- Spoje jsou těsné, není třeba je utěšňovat dodatečně.
- Těsnost spoje má vliv na korozní odolnost karosérie.
- Povrch spojovaných míst je hladký, odpadájí operace začišťování.
- Možnost spojovat různé materiály (např. ocel – ocel, pryž – pryž, sklo- sklo, nebo ocel – pryž, ocel – sklo atd..)
- Možnost spojovat materiály bez ohledu na jejich tloušťku (tedy i velmi tenké materiály).
- Možnost miniaturizace.
- Možnost výroby spoje s dobrou elektrickou, tepelnou a zvukovou izolací, nebo spoje s dobrou elektrickou vodivostí.
- Výrazně se sníží hlučnost (mezi spojovanými plechy nemůže dojít k žádnému klepání a skřípání).

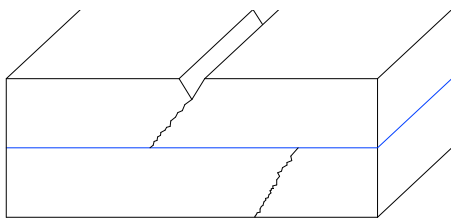
- Možnost spojení za nízké teploty bez ovlivnění spojovaného materiálu.
- Možnost spojení velkých ploch.
- Úspora hmotnosti snížením tloušťky plechu.
- Lze spojovat obtížně svařitelné materiály.
- Vysoká kvalita vzhledu povrchu spojovaných dílů v místě styku.

**Nevýhody lepených spojů:**

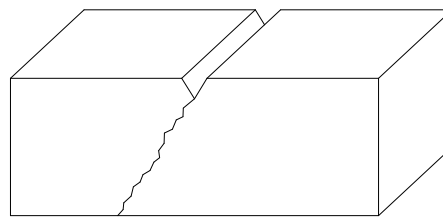
- Malá odolnost proti zvýšení teploty a namáhání v odlupování.
- Nutnost úprav ploch před vlastním lepením (důležitá je čistota a rovinnost povrchu lepených ploch).
- Většinou je třeba vytvrzovací doby.
- Dlouhé vytvrzovací doby.
- U některých lepidel je třeba použít vytvrzovací přípravky, případně připravit směs několika složek.
- U adherendů se špatnými adhezivními vlastnostmi jsou nutné speciální úpravy povrchů (např. použitím aktivátorů).

Nejdůležitější výhodou lepených spojů je ve srovnání se spoji klasickými zvýšení celkové pevnosti vhodně konstruovaného spoje.

K vlastnímu zlepšení pevnosti lepených spojů přistupuje ještě vysoká bezpečnost lepené konstrukce při poruše. Z *obr. 1.* je vidět omezení účinku vrubu vrstvou lepidla. Porucha z vrubu se šíří jen k vrstvě lepidla, přičemž další vývoj pokračuje z jiného místa, takže druhá část materiálu není prvotním vrubem ovlivněna vůbec. To má za následek, že se vrbová houževnatost lepených dílů může zvýšit. Příznivou vlastností lepených spojů je i to, že se trhlina u většiny konstrukčních lepidel zpočátku šíří velmi pomalu a zpravidla ji lze zjistit dříve než se trhlina stane nebezpečnou. Z *obr. 2.* je patrné, že se trhlina šíří celým materiálem bez přerušení.



Obr. 1.: Průběh poruchy u vrubovaného vzorku, vzniklého slepením dvou plechů



Obr. 2.: Průběh poruchy u vrubovaného vzorku z plného materiálu

Výhodou lepení je možnost spojit nehomogenní materiály, materiály s různou tloušťkou, materiály s různým koeficientem teplotní roztažnosti, nebo s různým chemickým složením.

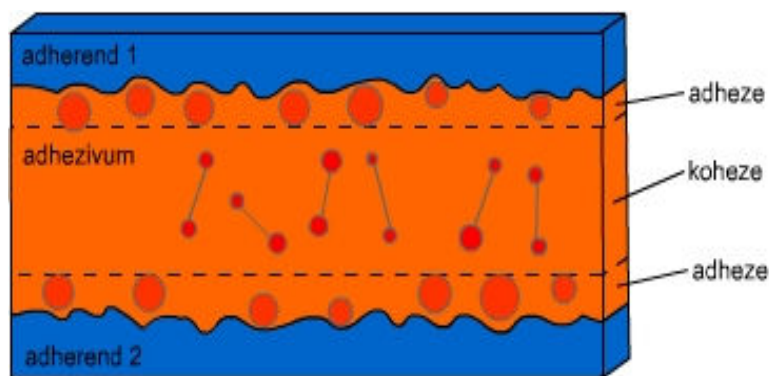
Další z výhod některých lepidel je jejich nízká vytvrzovací teplota. A z tohoto důvodu i možnost použití u materiálů, které tepelným ovlivněním (svařováním, pájením) mění své mechanické vlastnosti.

Lepený spoj působí jako těsnění. Spoj je tedy chráněn před vnikem nežádoucích látek (kapaliny, plyny) a je tedy odolnější proti korozi.

Snížení výrobních nákladů u lepení vyplývá ze skutečnosti, že doba potřebná k povrchové úpravě před lepením, stejně jako vytvrzovací doba, jsou nezávislé na délce spoje. Rovněž vzrůst doby potřebné k nanesení lepidla je nesrovnatelně menší a tím i příznivější, než je tomu u klasických metod.

### 2.1.3. Vznik lepeného spoje [4, 5]

Vznik lepeného spoje se uskutečňuje vzájemným chemickým a fyzikálním působením adheziva (lepidla) a adherendu (spojovaného materiálu). Přičemž lepidlo vytváří spojovací můstek mezi povrchy spojovaných materiálů. Lepené součásti mohou být jak ze stejného materiálu, tak z rozdílných materiálů. Výsledkem je vznik nerozebíratelného spoje, u kterého se využívají adhezivní síly mezi lepidlem a adherendem a vlastní koheze lepidla (*obr. 3.*).



Obr. 3.: Spojovací síly v lepeném spoji

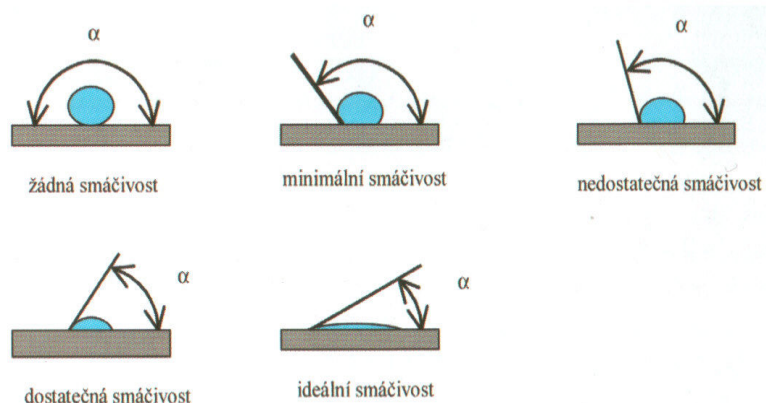
#### 2.1.3.1. Základní pojmy adheze a koheze [1, 4]

- **Adheze**

Adhezi lze definovat jako sílu přilnavosti. Je to přitažlivá síla lepidla na kontaktních površích materiálů. Základem adhezivního jevu jsou fyzikální síly přitažlivosti a adsorpce, které jsou popisovány jako síly Van der Waalsovy. Tyto síly mají na lepení zásadní význam. Dosah těchto mezimolekulárních sil je podstatně nižší než hloubka drsnosti mechanicky opracovaných ploch. Je tedy nutné, aby lepidlo vniklo do těchto povrchových nerovností a smáčelo dokonale povrchy lepených ploch.

Příznivá adheze je závislá na dobré smáčivosti lepeného pevného povrchu tekutým lepidlem. Smáčivost pevného povrchu tekutým lepidlem souvisí s krajovým (elevačním) úhlem  $\alpha$ , který svírá okraj kapky lepidla se základní látkou, a tedy s povrchovou energií obou látek. Má-li lepidlo smáčet pevný povrch látky, musí být jeho povrchová energie menší, než je kritická povrchová energie lepené látky. Nejvyšší povrchovou energii má z kapalin voda. Jestliže voda bude smáčet povrch materiálu, lze z toho usoudit, že materiál bude smáčen i jinými kapalinami (lepidly).

Smáčení může být také sníženo nečistotami na povrchu adherendu. Proto je nutné před lepením věnovat dostatečnou pozornost úpravě povrchu.

Obr. 4.: Smáčivost lepidel –  $\alpha$  elevační úhel

Smáčivost lepených povrchů můžeme hodnotit kapkovou metodou (obr. 4.). Dobře smáčivé jsou ty látky u nichž je krajový (elevační) úhel menší než  $90^\circ$ . Elevační úhel určuje rozdíl povrchových napětí lepidla a vzduchu. Je-li tento rozdíl kladný, pak je elevační úhel ostrý a lepidlo dobře smáčí povrch. Pokud tento rozdíl vyjde záporný, je elevační úhel tupý a lepidlo povrch nesmáčí.

- **Koheze**

Kohezi lze definovat jako soudržnost. Určuje vlastní pevnost lepidla a je spojena s tloušťkou lepidla. Lepidlo není namáháno jen na stykových plochách, ale také uvnitř ve filmu lepidla. Velikost koheze udává tzv. kohezní energie, kterou je možno vyjádřit jako energii potřebnou k oddělení částice lepidla od ostatních. Skládá se z mezimolekulární přitažlivé Van der Valsovy síly a síly vzájemného propletení řetězců molekul polymerů mezi sebou. Adhezní a kohezní síly by měly být přibližně v rovnováze, protože každý řetězec je tak pevný, jak pevný je jeho nejslabší článek.

### 2.1.3.2. Teorie adheze [1, 5]

Adhezi, jako jev vysvětluje řada teorií. Tyto teorie se opírají o vztahy molekul a jejich vzájemné působení.

- ❖ **Molekulová teorie (adsorpční)**

Dnes nejvíce přijímaná teorie adheze vychází z analogie jevu smáčení, adsorpce a adheze. Základem adheze je vzájemné působení molekul adherendu a adheziva (lepidla), proto je nevyhnutelné, aby oba

druhy molekul měly polární funkční skupiny schopné vzájemného působení. Proces vzniku adhezního spoje lze rozdělit na dvě stadia:

- transport molekul adheziva, k povrchu adherendu
- vzájemné působení mezimolekulárních sil (Van der Waalsovy) po přiblížení molekul adheziva na vzdálenost menší než 0,5 nm. Tento proces trvá až do dosažení adsorpční rovnováhy. Za předpokladu dostatečného kontaktu adherendu a adheziva (na molekulární úrovni) postačují Van der Waalsovy síly vzhledem ke své vysoké četnosti a dobré pevnosti adhezního spojení. Příčina malé pevnosti adhezního spoje je spatřována především v omezeném kontaktu adherendu a adheziva, a proto úzce souvisí s dokonalostí smáčení povrchu adherendu adhezivem.

#### ❖ **Elektrostatická teorie**

Tato teorie předpokládá dvojitou vrstvu vytvořenou dotykem dvou rozličných substancí ve spoji jako základ pro vznik adheze. Podle toho je spoj kondenzátorem, jehož rozdílně nabitě desky se přitahují. Jakmile je oddělíme, vzniklý potenciálový rozdíl se musí vybit, nebo vyzářit, jako elektronová emise. Při podrobnějších studiích však nebyla prokázána korelace mezi velikostí povrchového elektrostatického náboje a pevností odpovídajících adhezních spojení.

#### ❖ **Mechanická teorie**

Tato teorie vychází z představy, že po proniknutí kapalného adheziva do trhlin a kavit lepeného povrchu, dojde po zatuhnutí adheziva k jeho “zaklínění” v povrchu adherendu. Mechanické teorie adheze jsou dnes užívány sporadicky jen ve specifických případech, jako je například adheze pryžových směsí k textilním vláknům, či výroba překližek.

#### ❖ **Difúzní teorie**

Podle této teorie pevnost spoje vzniká vzájemnou difúzí polymerů (nebo jiných materiálů) napříč rozhraním. Základem tohoto tvrzení je skutečnost, že některé látky (například polymery) mohou navzájem difundovat a průběh této difúze, který závisí především na čase, teplotě, viskozitě, kompatibilitě adherendu a adheziva, relativní molekulové hmotnosti polymerů, ovlivňuje pevnost spoje. Tato teorie však nevysvětluje možnost

spojení materiálů, které vzájemně nedifundují, ale úspěšně se lepí (např. sklo - kov).

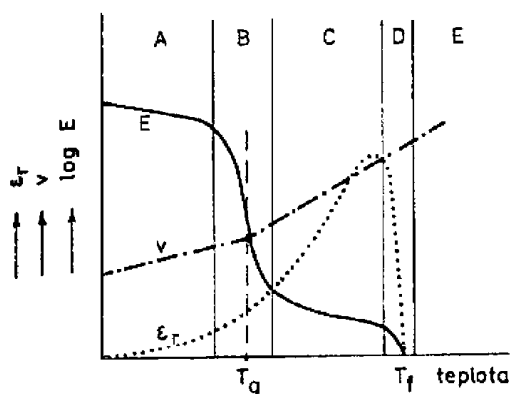
#### ❖ **Chemická teorie**

Pro získání pevného spoje, který nebude vykazovat adhezivní, ale kohezivní lom, je podle této teorie potřebné, aby materiály, které se mají navzájem spojit, reagovaly vytvořením primárních chemických (kovalentních) vazeb napříč rozhraním. Takovéto vazby sice někdy vznikají, všeobecně však lepení probíhá v termodynamických podmínkách, které vznik chemických vazeb neumožňují. Pokud by tyto vazby vznikly, nelze jednoznačně tvrdit, že zvyšují pevnost spoje, neboť snahy zavést do adheziv či adherendů reakceschopné funkční skupiny často nevedly ke zlepšení vlastností adhezivního spoje.

#### **2.1.4. Reologické vlastnosti lepidel** [2, 6, 7]

Při lepení karosérií automobilů se používají nejčastěji lepidla na bázi reaktivních polymerů jako jsou reaktoplasty (např. epoxid), kaučuky (např. PUR), respektive na bázi směsí reaktivních (např. epoxid-PUR) a popřípadě i směsí reaktivních a termoplastických polymerů (např. epoxid-PVC).

V reologickém chování plastů za vyšších teplot je velký rozdíl mezi lineárními amorfními polymery a zesíťovanými polymery. Při sledování závislosti modulu pružnosti, měrného objemu a tažnosti na teplotě u amorfních polymerů, zjistíme při teplotě označené  $T_g$  výrazné změny vlastností (zobrazeno na obr. 5.).



Obr. 5.: Schématický průběh závislosti modulu pružnosti  $E$ , měrného objemu  $v$  a tažnosti  $\epsilon_r$  lineárního amorfního polymeru na teplotě

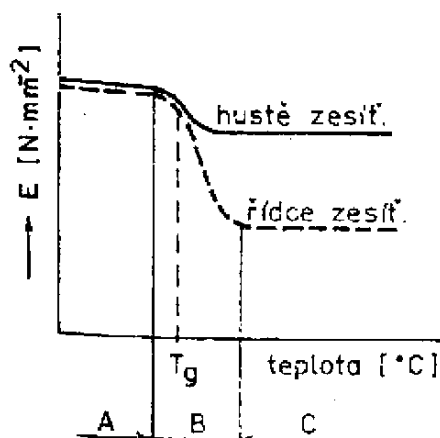


Kde:  $T_g$  – teplota zesílení

$T_f$  – teplota viskozního toku

V okolí teploty zesílení  $T_g$  se modul pružnosti mění asi o tři řády, koeficient teplotní roztažnosti asi o 100%, na závislosti měrného objemu a indexu lomu je patrný zlom. Z termodynamického hlediska lze chování polymeru vysvětlit na základě Brownova pohybu makromolekul, který závisí na teplotě. Teplota  $T_g$  má rozhodující vliv na změnu Brownova mikropohybu (pod  $T_g$ ), kdy se vzájemná poloha makromolekul nemění a molekuly rotují, nebo se kývají kolem střední polohy, na Brownův makropohyb (nad  $T_g$ ), kdy se molekuly pohybují jako celek, což se projevuje změnou vzájemné polohy. Hmota nabývá kaučukovitou pružnost.

Zesíťované polymery se chovají ve srovnání s lineárními odlišně. Tuhá síť chemických vazeb vylučuje přesuny makromolekul jako celku a konformačním změnám mohou podléhat jen velmi omezené úseky řetězců. Proto u nich můžeme při zvyšování teploty nalézt jen náznak kaučukovité pružnosti viz *obr. 6.* Modul pružnosti má stále vysokou hodnotu, která zůstává víceméně konstantní, až do teploty rozkladu.



Obr. 6.: Závislost modulu pružnosti zesíťovaných polymerů  $E$  na teplotě  
A- sklovitý stav, B- přechodová oblast, C- náznak kaučukovitého stavu

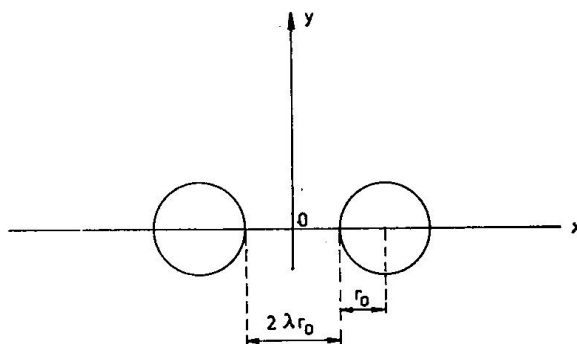
Z praktického hlediska je nejjednodušší hodnotit tokově-reologické vlastnosti lepidel pomocí modulu pružnosti v tahu a v ohybu. Základním pravidlem je, aby moduly pružnosti všech složek lepeného systému byly navzájem co nejbližší. Určitý všeobecný obraz o chování materiálu nám

zpravidla dává i údaj o molekulové hmotnosti polymeru, resp. vztah této veličiny k rovnovážnému modulu pružnosti.

Polymery se podle mechanických vlastností obvykle rozdělují do tří skupin: tvrdé, houževnaté a měkké. Pokud by se tedy lepená vrstva skládala z čistého polymeru, který by patřil do některé z těchto skupin, základní reologické chování by odpovídalo typovému diagramu pro příslušnou skupinu (např. polystyrén, epoxidy apod.).

Uvažujeme-li o pevnosti spoje, berme do úvahy i ostatní reologické vlastnosti, můžeme předpokládat, že výsledná pevnost bude záviset na molekulové kohezi, vnitřních napětích vyvolaných nadmolekulovou strukturou a faktorech koncentrace napětí vyvolaných geometrickými poměry a bublinami ve spoji.

V případě dvou kruhových dutin (obr. 7.) bude velikost napětí závislé na jejich vzájemné vzdálenosti a na směru působení venkovních sil.



Obr. 7.: Napětí ve vrstvě se dvěma kruhovými dutinami

Pokud namáhání působí ve směru osy  $y$ , dvě dutiny oslabují spoj více, než jedna, pokud ale zatěžující síla působí ve směru osy  $x$ , jsou dvě kruhové díry méně nebezpečné, než jedna.

Dutiny, které vznikly v lepené vrstvě přímo, ovlivňují tokové a pevnostní vlastnosti spoje a v technologii se musí dělat praktická opatření k zamezení jejich výskytu (vakuování lepidla, vyšší tlak a teplota při vytvrzování, důkladná hladkost a rovnost povrchu apod.).

Kromě faktorů zvýšení a koncentrace napětí se do výsledné pevnosti lepeného spoje zapojuje ještě jedna veličina, která ovlivňuje chování spoje při namáhání a souvisí s reologickými vlastnostmi. Jde o skryté vnitřní napětí, které je způsobeno změnou struktury při vytvrzování (a následném

chladnutí), přičemž nastává postupné smršťování (snižování) objemu. Hodnoty napětí vyvolané smrštěním platí do okamžiku, kdy je tuhý materiál v konečném stavu bez napětí, tj. pokud se koncentrace nezmenšila působením vnějších sil. Daleko od hrany spoje, tj. v oblasti, kde působí skryté vnitřní napětí kolmo na lepenou plochu, má toto napětí ve vytvrzeném filmu lepidla hodnotu

$$s = \frac{E_2 \cdot (h_0 + h_1)}{h_0} \quad (1)$$

kde  $E_2$  je modul pružnosti lepidla (musíme vycházet ze zjednodušení skutečného stavu, a to z předpokladu, že se lepidlo ve vytvrzeném stavu chová podle Hookeova zákona)

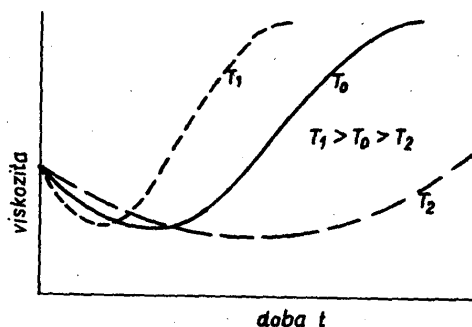
$h_0$  - konstantní tloušťka lepidla, která vyplní prostor mezi rovnoběžnými plochami spoje

$h_1$  - tloušťka lepidla po vytvrzení za podmínky, že při vytvrzování nebudou působit vnější síly

Trhlina ve spoji nevznikne, pokud je  $s$  menší, než konečná pevnost lepidla v tahu, ale síla, kterou má spoj přenášet musí být úměrně této veličině menší.

Viskozita reaktoplastů:

Reaktoplasty přicházejí ke zpracování jako poměrně nízkomolekulární sloučeniny, které v první fázi zahřívání měknou a je možné je tvářet, avšak tvářitelnost si podržují jen omezenou dobu, protože zahříváním se rozběhne polyreakce, zpravidla polykondenzace nebo polyadice, která byla při výrobě polymeru v určité fázi přerušena a výsledkem je prostorově zesíťovaná struktura, která je pro reaktoplasty charakteristická. Tento děj se nazývá vytvrzování a je nevratný. Vytvrzenou hmotu nelze znovu ani roztavit ani rozpustit v rozpouštědlech. Základní rozdíl ve srovnání s termoplasty spočívá v časově závislé viskozitě, která je ovlivněna vytvrzováním (*obr. 8*).

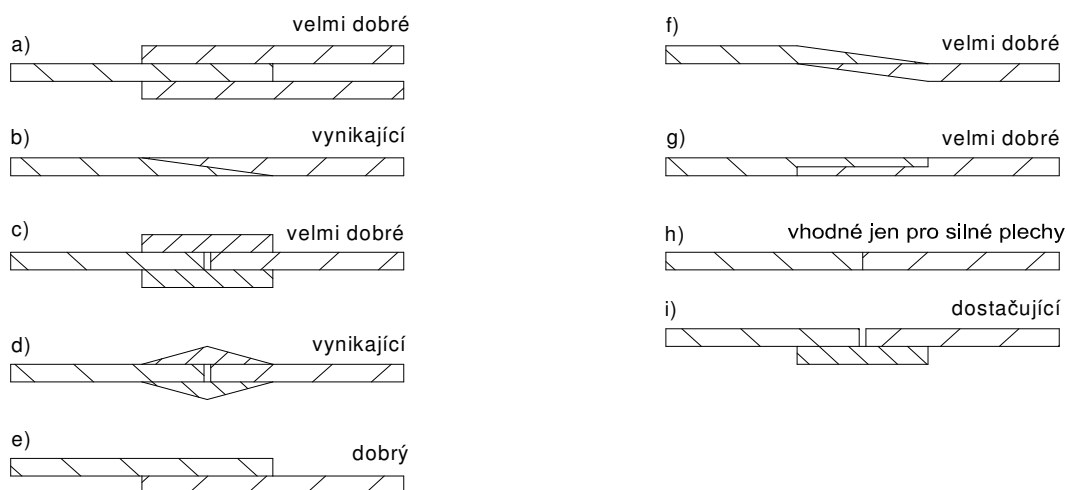


Obr. 8.: Závislost viskozity na teplotě vytvrzování

Kde:  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  - teplota

### 2.1.5. Konstrukční uspořádání lepených spojů [1, 8]

Na *obr. 9.* jsou znázorněny základní typy lepených spojů a jejich charakteristika. Ostatní lepené spoje jsou už jen kombinací základních typů, jímž je přeplátování při použití dvou a více pomocných plátů.



Obr. 9.: Příklady spojů: a) Dvojité přeplátovaný spoj, b) Zkosený tupý spoj, c) Dvojité přeplátovaný spojený pásem, d) Dvojité přeplátovaný spoj s nezúženými pásy, e) Jednoduchý přeplátovaný spoj, f) Jednoduchý přeplátovaný zkosený spoj, g) Stupňovitě přeložený spoj, h) Tupý čelní spoj, i) Přeplátovaný spojený pásem

Předpokladem pro dobrou pevnost a dostatečnou únosnost lepeného spoje je především vhodná konstrukce spoje. Lepené spoje jsou charakteristické velmi dobrou pevností ve smyku, pevnost v tahu je výrazně nižší. Ještě horší je pevnost spoje v odlupu. Tahová, tlaková a smyková

napětí jsou pro lepený spoj výhodnější, protože působící síla se rozloží v celé ploše lepeného spoje, při výpočtu uvažujeme celou plochu lepidla, kdežto u odlupu je působiště sil v přímce a má tedy výrazně nižší schopnost odolávat zatížení. Proto zásady vhodného užití lepeného spoje vycházejí jednak z charakteru použitého lepidla a také z požadavku co nejvíce redukovat namáhání v tahu a odlupování. Pokud nelze tyto faktory dostatečně omezit a je-li třeba zvýšit spolehlivost spoje, kombinuje se lepení s ostatními technikami spojování. V mnoha případech jsou lepené spoje využívány v kombinaci s bodovým svařováním.

### 2.1.6. Zkoušky lepených spojů

Testování lepidel dle zkušebních metod dává komplexní poznatky o vlastnostech a chování lepidel při jejich aplikaci v místě lepených spojů.

Při zkoušení lepených spojů i jednotlivých složek spoje je nejčastější otázka pevnosti. Důležité jsou ale i ostatní mechanické vlastnosti.

Rozdělení zkoušek dle technologického hlediska:

#### **A) Destruktivní**

1. Zkušební metody na únavu konstrukčních lepidel zatěžovaných ve smyku tahem.
2. Rázová pevnost.
3. Stanovení smykové pevnosti v tahu tuhých adherendů na přeplátovaných tělesech.
4. Stanovení odolnosti vysoce pevných lepených spojů při odlupování.
5. Zkouška smykem při tahovém namáhání pro stanovení diagramu posuvu smykových napětí deformace lepidla v lepeném spoji.
6. Zkouška torzním smykem.
7. Klínový test.
8. Určení tahové pevnosti tupých spojů.
9. Zkouška tlakem při tlakovém namáhání.

#### **B) Nedestruktivní**

1. Akustické metody (ultrazvuk).
2. Elektrické metody.
3. Vyzařovací metody.

### 2.1.7. Typy porušení lepeného spoje [9]

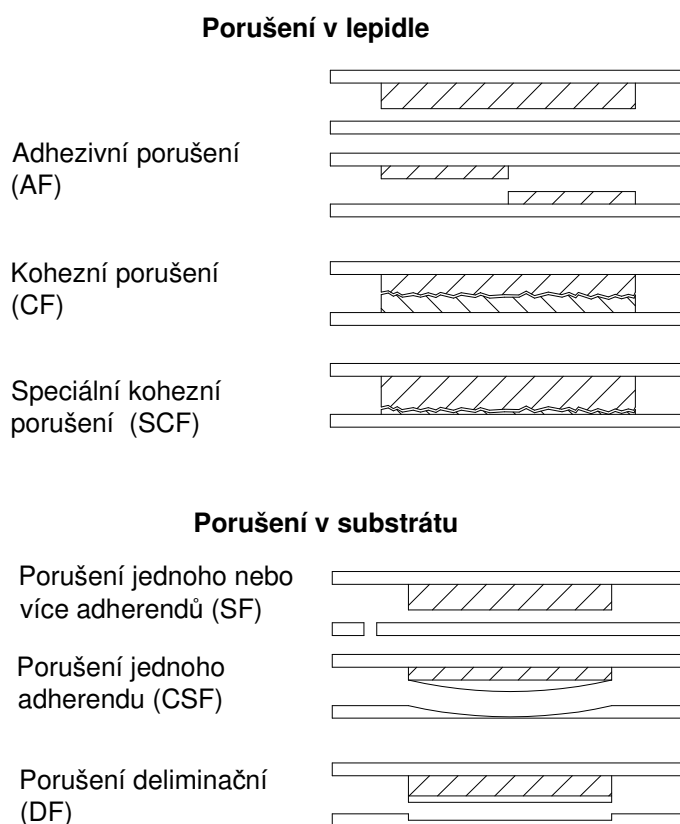
Označení hlavních typů porušení lepeného spoje uvádí norma ČSN ISO 10365. Tuto normu lze použít pro všechny mechanické zkoušky lepených spojů, bez ohledu na povahu adherendů a lepidla tvořících lepený spoj.

**Adhezivní porušení (AF)** – prasknutí lepeného spoje, které se projeví oddělením na rozhraní lepidlo/adherend (lepidlo je úplně odděleno od jednoho z povrchů materiálů).

**Kohezní porušení (CF)** – prasknutí lepeného spoje, při kterém se oddělení projeví buď v lepidle nebo v adherendu (zlom probíhá lepidlem, jeho zbytky jsou na obou materiálech).

**Speciální kohezní porušení (SCF)** – kohezní porušení na hranici substrátu

Jednotlivé typy porušení v lepidle v substrátu popisuje obr. 10..



Obr. 10.: Hlavní typy porušení u lepených spojů

Některé významné příčiny selhání lepených spojů mohou být zjištěny vizuálním posouzením lepených součástí. Tímto způsobem lze stanovit, zda k porušení spoje vedla závada v adhezi nebo v kohezi, nebo zda byly porušeny spojované součásti.

## **2.2. Lepidla**

### **2.2.1. Co je lepidlo [1, 2, 8]**

Lepidlo je materiál, který pomocí adhezních a kohezních sil dokáže slepit plochy adherendu. Protože nároky na vysokou produktivitu výroby neustále rostou, zvláště v automobilovém průmyslu, není z tohoto důvodu výhodné před aplikací lepidla při stavbě karoserie plech zvlášť odmašťovat a ani se tak v praxi nečiní. Tímto se okruh použitelných lepidel zužuje na lepidla, která jsou vůči mazivům málo citlivá a zajišťují dostatečnou adhezi i pevnost spoje navzdory určité tloušťce povrchové vrstvy maziva. Lepidla by měla především zajišťovat:

- Dostatečnou pevnost spoje.
- Spoje těsné a tím odolávat působení vnějších činitelů (vodě, chemickým činitelům atd.).
- Dostatečnou lepivost v tekutém stavu.
- Při vytvrzování co nejmenší smršťování.
- Jednoduché nanášení.
- Minimální úpravu povrchu adherendu před vlastním lepením.
- Mít dobré elektrochemické vlastnosti.

Musíme také lepidlům zajistit správné podmínky skladování. Lepidla skladovat v suchých místnostech, nemají být poblíž topení a nemá na ně přímo svítit slunce. Při porušení podmínek skladování lepidel, může dojít k jejich znehodnocení.

### 2.2.2. Složky lepidel [1,2]

Součástí každého lepidla jsou pojiva, nosiče, vytvrzovadla a modifikátory:

**Pojivo** (adhezní základ) – je hlavní složkou lepidla a má zajistit pevnost a odolnost lepeného spoje

**Nosič** (nosné medium) – tvoří těkavé nebo reaktivní rozpouštědlo, voda, ale také fólie, papír nebo textil  
– musí zabezpečit rovnoměrné nanesení lepidla

**Vytvrzovadla** – vytvrzovací systém je součástí reaktivních lepidel  
– skládá se z vytvrzovacího činidla, katalyzátoru popřípadě urychlovačů, inhibitorů apod.

**Modifikátory** – se přidávají jako nastavovadla, plniva, dále k ovlivnění reologických vlastností lepidla, ke zvýšení stability koloidního stavu disperzních lepidel, popřípadě k ovlivnění vlastností výsledného filmu lepidla.

### 2.2.3. Rozdělení lepidel [1, 10]

Rozdělení lepidel je složitý problém, který lze zpracovat z nejrůznějších pohledů. A proto si uvedeme pouze některá možná rozdělení.

a) Podle způsobu vytváření lepeného spoje.

Lepidla:

- Roztoková nebo disperzní – tuhnou vsáknutím a odpařením rozpouštědel.
- Citlivá na tlak – například lepicí pásy, spoj vzniká po lehkém přitlačení.
- Tavná – spoj vzniká ztuhnutím taveniny.
- Vytvrzující chemickou reakcí.

b) Podle chemického složení ( podle původu jejich adhezivní složky)

Lepidla:

- Přírodní
  - ❖ Organická – nejčastěji živočišného a rostlinného původu např. škrob, celulóza, pryskyřice, kaučuk .
  - ❖ Anorganická – např. vodní sklo, sádra, cement, keramika.



- Syntetické – ty se podle povahy polymeru dělí na:
  - ❖ Termoplastická – tavná, rozpouštědlová, disperzní, reaktivní.
  - ❖ Reaktoplastická – např. epoxidové a polyesterové Pryskeyřice.
  - ❖ Elastomerická - např. na bázi přírodních a syntetických Kaučuků.
  - ❖ Směsné reaktoplasticko-termoplastické systémy.

c) Podle druhu vytvrzovací reakce je dělíme do tří typů:

**Polykondenzace:**

Je slučování většího počtu molekul stupňovitým mechanismem v makromolekuly, provázené odštěpováním jednoduchých molekul, například vody, alkoholu a podobně. Produkt polykondenzace má jiné elementární složení než výchozí monomery.

**Polymerace:**

Je polyreakce, při níž se molekuly monomeru spojují řetězovým mechanismem v makromolekuly polymeru, aniž se odštěpuje voda nebo jiná jednoduchá látka. Produkt má většinou stejné elementární složení jako monomer.

**Polyadice:**

Probíhá podle podobného reakčního mechanismu jako polykondenzace, totiž postupným mechanismem. Nedochozí však k odštěpování nízkomolekulární látky. Elementární složení polymeru je stejné jako složení monomeru.

### 2.2.3.1. Kaučukovitá lepidla [1, 11]

Kaučukových lepidel může být více druhů, záleží na způsobu výroby, množství výchozích látek a příměsí, z nichž je lepidlo vyrobené.

Kaučukovitá lepidla se nejčastěji dělí podle způsobu vulkanizace do 3 skupin:

### **1. Nevulkanizační lepidla**

Jsou jednosložková a většinou i jednoúčelová. Pevný spoj povrchu adherendu se dosáhne po odpaření rozpouštědel. Optimální pevnost spoje dosáhnou tyto lepidla až po několika hodinách či dnech.

### **2. Samovulkanizační lepidla**

Patří mezi nejpoužívanější lepidla, protože se používají za normální teploty a nevyžadují na dosažení optimálních spojů vulkanizaci za zvýšených teplot.

### **3. Vulkanizační lepidla**

Se vyrábějí v daleko menším množství než lepidla předcházejících skupin, protože na dosažení optimálních pevností spoje je třeba zvýšenou teplotu asi 140 až 150 °C. Tyto lepidla se vyrábějí jako jednosložková.

Hlavní požadavky na dobré rozpouštědlo pro výrobu kaučukovitého lepidla jsou zejména:

- rozpouštědlo nesmí mít nepříznivý vliv na kvalitu lepidla,
- musí být minimálně toxická,
- musí zaručovat co nejmenší nebezpečí vzniku ohně,
- nemělo by zapáchat,
- mělo by mít vhodnou rychlost rozpouštění kaučuku a rychlost odpařování.

#### **Výhody kaučukovitých lepidel**

- spoj je odolný proti vodě, povětrnostním podmínkám, některá lepidla odolávají některým chemikáliím a částečně i olejům
- jsou vhodná pro velký počet adherendů mají poměrně dlouhý čas skladování
- jsou cenově výhodná

#### **Nevýhody kaučukovitých lepidel**

- většinou jsou hořlaviny 1.stupně
- jsou zdravotně závadná
- při práci s nimi se musí dodržovat bezpečnostní předpisy

K výrobě kaučukovitých lepidel se používají obyčejné kaučuky a kaučukové směsi, které se těsně před výrobou lepidla odbourávají válcováním, aby se zvýšila lepivost a rozpustnost.

Při rozpouštění v mísících strojích se nejprve přidává jen asi jedna třetina objemu rozpouštědla, zbytek se přidává postupně. Pro urychlení rozpouštění se někdy nechává kaučuk nejprve bobtnat 12 až 24 hodin v rozpouštědle.

Po objevu vulkanizace přírodního kaučuku a jeho regenerace bylo zjištěno, že lepidla připravená rozpouštěním regenerátu mají vlastnosti, které nelze získat rozpouštěním přírodního kaučuku.

K vulkanizaci kaučuku za laboratorní teploty se dá použít například chlorid sirný, který vytváří mezi jednotlivými řetězci sirné můstky.

Lepidla z přírodního kaučuku nebo z regenerátu mohou být roztoky v rozpouštědlech, vodné disperze nebo polotuhé tmely a pasty.

Z přírodního kaučuku i z regenerátu se dělají lepicí pásy, jejichž nosičem je textil nebo plast. Lepidlo se nanáší buď z roztoku potíráním, nebo nanášením tuhé směsi za zvýšené teploty.

Lepidla z přírodního kaučuku i z regenerátu se používají k lepení papíru, kovů, plastických hmot, kůže, pryže, dřeva apod..

#### **2.2.3.2. Epoxidová lepidla [1, 11]**

Základní složkou epoxidových lepidel je epoxidová pryskyřice. Dnes se vyrábí velké množství různých druhů epoxidových pryskyřic. Každý druh může mít podle délky řetězce molekul řadu typů, lišících se viskozitou, od nízkoviskózních kapalin až po tuhé látky s vysokou teplotou tání. Tak vzniká nepřeberné množství epoxidových lepidel.

Mohou být buď jednosložková nebo dvousložková. Epoxidová lepidla určená pro práci při vyšších teplotách zpravidla vyžadují také vyšší vytvrzovací teploty a jsou křehčí než lepidla určená pro nižší teploty.

Protože jsou epoxidové pryskyřice snášitelné s řadou jiných pryskyřic, dá se z nich připravit mnoho modifikací, z nichž většina dává vyhovující pevnosti spojů ve značném rozmezí tloušťek vrstvy lepidla.

Malá pevnost epoxidových lepidel v odlupování se dá vhodnou modifikací zvýšit, stejně tak tepelná vodivost a odolnost proti vlivu prostředí. Tím se získávají vynikající konstrukční lepidla, používaná prakticky ve všech průmyslových odvětvích.

Lepidla mají malou objemovou smrštitivost, obvykle od 0,05 do 5%. Protože obsahují řadu polárních skupin, jako epoxidové, nitridové, hydroxylové, aminové a podobně, mají dobrou adhezi k řadě adherendů. Vysoká kohezní pevnost samotného lepidla často převyší pevnost adherendu.

Epoxid-fenolická lepidla jsou obvykle používána pro spojování dílů namáhaných při vyšších teplotách. Spoje se mohou zahřívat několik set hodin při teplotě 260 °C. Jsou poměrně křehká.

Epoxidová lepidla modifikovaná vysokomolekulárními polyamidy jsou velmi houževnatá, mají dobré pevnosti v odlupování, spoje snášejí trvale teplotu asi 100 °C. Pevnost v odlupování má vysoké hodnoty i za mrazu. Epoxidová lepidla modifikovaná vysokomolekulárními polyamidy jsou náchylná k navlhavosti. Pokud se do lepidla dostane vlhkost před vytvrzením, vyvíjí se během vytvrzování pára a spoj je porézní. Odolnost vytvrzených spojů proti vlhkosti lze zvýšit použitím vhodného primeru.

Pokud je třeba vytvrzený spoj lepený epoxidem rozebrat, stačí u některých méně tepelně odolných typů součástí zahřát na teplotu 200 až 300 °C a spoje mechanicky porušit. Jinou možností je rozrušit epoxidové lepidlo ponořením dílu do chloroformu po dobu 16 hodin.

Epoxidová lepidla se používají v letectví jako vysoce kvalitní konstrukční lepidla kovů, osvědčila se i při spojování vyztužených a lehčených plastů, pryže, dřeva. Jsou používána v elektrotechnice, ve stavebnictví, v automobilovém průmyslu.

### **2.3. Použití lepených spojů ve stavbě automobilových karoserií [8, 12]**

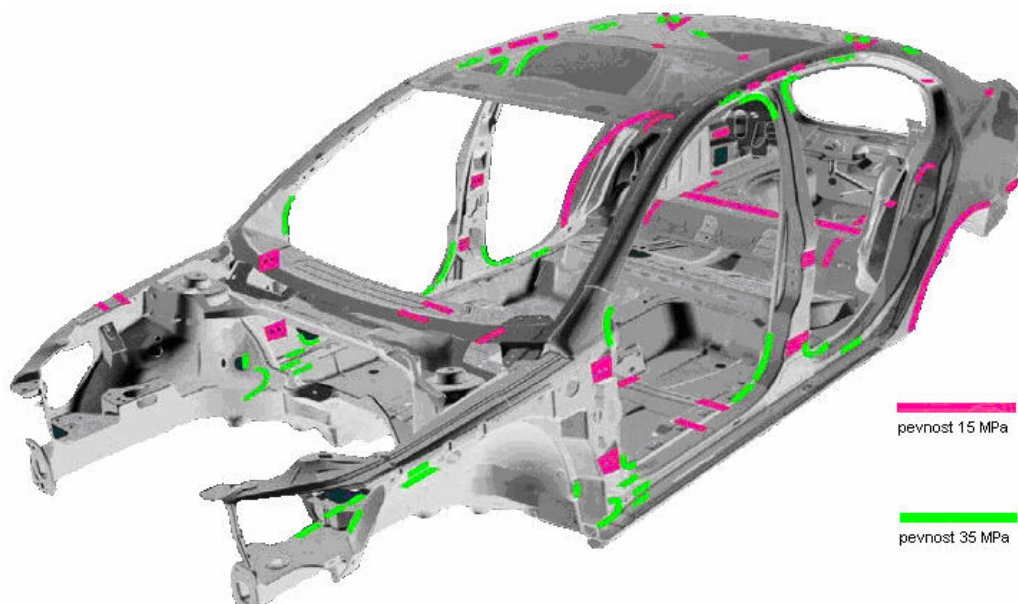
Technologie lepení nachází při hrubé stavbě karoserie stále širší uplatnění vzhledem k požadavkům na snižování hmotnosti karoserie (snížení hmotnosti vede k úsporám pohonných hmot). Ušetřenou hmotnost lze využít k celkové zvýšení tuhosti karoserie. Nižší energetická náročnost lepení, v porovnání se svařováním, je též faktorem pro zvyšování podílu lepených spojů ve stavbě karoserií automobilů.

Lze říci, že lepení zastává buď funkci doplňkovou, těsnicí (lepení a tmelení karoserií za účelem těsnění, tlumení chvění, antikorozi ochrany, aplikace výztuh) nebo může, ve specifických případech, celkově zastoupit technologii svařování v konstrukčních spojkách.

Charakter a složení lepidel používaných pro stavbu karoserií je velmi úzce spjat s požadovanou funkcí spoje. Takto lze lepidla rozdělit na lepidla pro účely těsnicí, výztuhová a pevnostní.

Tab.1.: Příklady použití lepených spojků

<b>Druh lepeného spoje</b>	<b>Příklady</b>	<b>Používaná lepidla</b>	<b>Požadované vlastnosti lepeného spoje</b>
<b>Drážkové přírubové lepení</b>	Kapota	Např. epoxidové pryskyřice	Pevnost, tuhost, chování při nárazu, ochrana před šterbinovou korozi
<b>Výztuhové lepení</b>	Dveře, kapota	Např. polyuretany, PVC, syntetické kaučuky	Neohebnost torze, nesmí se deformovat vzhledový díl
<b>Lepení nosné struktury</b>	Sloupky, profily, přírubové švy	Epoxidová pryskyřice	Pevnost, tuhost, chování při nárazu
<b>Těsné lepení</b>	Hrdlo nádrže, utěsnění švu	Např. PVC, syntetické kaučuky	Těsnost, odolnost vůči korozi
<b>Přímé zasklívání</b>	Přední, zadní a pevné boční tabule	Např. polyuretany	Tuhost karoserie, těsnost, nepropustnost



Obr. 11. Příklad umístění epoxidových lepidel na karoserii ŠKODA Octavia

## 2.4. Sortiment plechů používaných pro karosářské výlisky

Používaný sortiment plechů vychází z požadavků spotřebitelů. Požadavek je, aby plechy automobilových karosérií co nejvíce odolávaly korozi. Proto se začaly používat plechy s ochrannými povlaky na bázi zinku. Právě zinkové povlaky poskytují výbornou ochranu proti korozi a navíc jsou relativně levné. [13, 14]

### 2.4.1. Vývoj ocelových plechů pro automobilový průmysl

Vzrůstající požadavky kladené na plech jako konstrukční materiál vede nejen ke zvyšování tlaku na povrchové protikorozní vrstvy plechu, ale má i za následek hledání nových typů ocelí, které těmto požadavkům mají vyhovět.

Důležitým požadavkem na plechy v automobilovém průmyslu je zvyšování životnosti karosérie, což napomohlo k používání plechů s ochrannými povlaky. S tím souvisí nárok na povrchovou mikrogeometrii plechu vzhledem ke kvalitě laku (zmenšení stop po tvářecím procesu – rýhy, škrábance atd.).

### **Rozdělení ocelových plechů:**

- **Hlubokotažné plechy z ocelí uklidněných Al**

Tyto plechy byly ještě nedávno hlavním materiálem pro stavbu karosérií. Jejich výborná tvářitelnost je předurčuje pro tvarově složité výlisky hlavně pro povrchové díly. Nevýhodou je nemožnost zajistit dobrou hlubokotažnost především po žárovém pozinkování (HDG). Ocele uklidněné Al totiž vykazovaly degradaci mechanických vlastností ve formě deformačního stárnutí.

- **IF ocele bez intersticií (Interstitials Free)**

Proto byly vyvinuty ocele bez intersticií a začalo se pro ně používat označení IF ocele. Tyto ocele se mají vynikající kombinaci mechanických vlastností a jsou odolné vůči deformačnímu stárnutí i po žárovém pozinkování. Tohoto se dosahuje použitím interstiticky rozpustných atomů C a N, které jsou vázané na stabilní sloučeniny Ti nebo Nb. Nevýhodou těchto ocelí je nízká mez kluzu (výhodná z hlediska tvářitelnosti) projevující se nízkou odolností těchto ocelí při dalším zpracování.

- **IF ocele vykazující BH efekt (Bake Hardening)**

Jsou to ocele vykazující BH efekt. Jde vlastně o vytvrzovací efekt, který je patrný při samotném vypalování laku karosérie za teploty okolo 170 °C. Můžeme rozlišit dva základní druhy těchto ocelí:

- 1) Se zvýšeným obsahem C

U IF ocelí se zvýšeným obsahem C lze dosáhnout BH efektu za nižších žíhacích teplot. Vzhledem k faktu, že určitý obsah C zůstává v tuhém roztoku i při válcování za studena, nelze dosáhnout strukturu takového typu, která zabezpečí vysokou hlubokotažnost.

- 2) Ze zvýšeným obsahem Ti nebo Nb

Typ ocelí s přebytkem Ti a Nb vykazuje vynikající hlubokotažnost, protože během válcování za studena prakticky neexistuje C v tuhém roztoku. Jejich nevýhodou je však potřeba vysokých žíhacích teplot.

- **DP (dvoufázové) ocele (Dual – Phase)**

Tyto ocele mají strukturu tvořenou feritickou maticí, ve které se nacházejí malé ostrůvky martenzitu. Díky této struktuře mají tyto ocele velmi dobrou tvářitelnost za studena. Díky vysoké kapacitě deformačního zpevnění

dochází ke snížení rizika výrazného ztenčení stěny u výlisku nepravidelných tvarů.

- **TRIP – ocele** ( Transformační indukovaná plasticita)

Název TRIP ocele určuje vlastní výchozí strukturu. Ta je tvořena z feritu a bainitu s ostrůvky zbytkového nepřeměněného austenitu, který transformuje na tvrdý martenzit až při tváření. Díky kombinaci svých vlastností (pevnost 700 MPa, tažnost nad 28%) jsou předurčeny na nejnáročnější součásti v automobilovém průmyslu.

- **CP** (multifázové) **ocel** (Complex Phase)

U těchto ocelí se využívá tzv. strukturního zpevnění, kdy se do kovové matrice zavádějí strukturní složky různé pevnosti. Snahou je, aby byly tyto složky rozmístěny co nejrovnoměrněji. Řízeným chlazením z austeniticko-feritické oblasti se pak tvoří tyto multifázové ocele. Jejich hlavní charakteristikou je vysoká kapacita deformačního zpevnění (vyplývající z předem definované jemnozrné struktury), která má za následek dobrou tvářitelnost a současně zaručuje velmi dobrou rozměrovou stálost výlisků.

#### 2.4.2. Povrchové úpravy plechů

V automobilovém průmyslu se díky své poměrně nízké ceně a výborné protikorozi ochranně nejvíce uplatňují plechy s povlaky na bázi zinku. V dnešní době používají dva způsoby nanášení zinkového povlaku na základní materiál. Buď plechy žárově pozinkované (HDG – Hot Dip Galvanized) nebo plechy elektrolyticky pozinkované (EG – Electro Galvanized).

U plechů žárově pozinkovaných se k nanášení zinkové vrstvy používá ponoření základního materiálu do lázně roztaveného zinku. Přechod pak tvoří velmi tvrdé přechodové fáze (ocel a zinek smíchaný do sebe) a dochází k ovlivnění základního materiálu, což může vést k odlišným mechanickým vlastnostem.

U plechů elektrolyticky pozinkovaných dochází k postupnému usazování zinkového povlaku na základní materiál. Vzhledem k tomu, že se tento děj nekoná za vysokých teplot, nedochází k ovlivnění podpovrchové



vrstvy a přechod je velmi dobře patrný (čistě ohraničené dvě vrstvy – ocel a zinek).

V oblastech technologie tváření je možno použít i jiný prvek než zinek a to fosfát. Fosfát kromě korozní ochrany plní řadu dalších funkcí. Je schopen zamezit bezprostřednímu styku tvářeného materiálu s povrchem nástroje a je též nosnou vrstvou pro mazadlo, což zaručuje požadavek stálého mazacího filmu i za vysokých tlaků (uplatňuje se především v operacích protlačování). Fosfát je výhodný z hlediska tváření, ale nevýhodný pro další zpracování (svařování, lepení...), protože fosfátové vrstvy způsobují izolační schopnost povrchu plechu. Obchází se to pomocí mikrofosfátové vrstvy, kdy je fosfát jemně rozptýlený na zinkovém povlaku například HDG + NIT.

### 3. Experimentální část

#### 3.1. Cíl experimentu

Úkolem této diplomové práce bylo zhodnocení vlivu vytvrzování na pevnost lepeného spoje při lepení karosářských plechů a vyhodnocení jednotlivých typů porušení lepených spojů.. Obecně pevnost lepeného spoje ovlivňuje celá řada faktorů. Mezi tyto faktory patří teplota, drsnost povrchu materiálu, způsob odmaštění a očištění, tloušťka vrstvy lepidla atd.

Pro vyhodnocení vlivu doby a teploty vytvrzování na pevnost lepeného spoje byla vybrána tahová zkouška pevnosti ve smyku na překládaných tělesech, při dané úpravě plechů (odmaštění pomocí benzínu) a dané tloušťce lepidla (pomocí distančních drátků byla tloušťka lepidla stanovena na 0,2 mm).

Vybraná lepidla, která byla testována jsou všechna na bázi reaktoplastů a kaučuků a nebo jejich směsí a tedy závisí na stupni zesíťování makromolekul neboli na jich stupni vytvrzení. Stupeň vytvrzení je závislý na teplotě a době jejího působení (viz. kap. 2.1.4 na str. 20).

Vlastní zkoušení vzorků z hlediska vlivu parametrů vytvrzování bylo rozděleno na dvě části. První část vzorků se nechala vytvrzovat v laboratoři TU v Liberci a to při teplotách 160°C, 180°C a 200°C a pro tři různé doby vytvrzování a to 15 min., 20 min. a 25 minut. Druhá část vzorků se nechala vytvrzovat ve Škodě Auto Mladá Boleslav na lince KTL při teplotě 180°C a době vytvrzování 20 minut. Úkolem byl porovnat rozdíl pevnosti, typu porušení mezi vzorky vytvrzenými v laboratorních podmínkách a vzorky vytvrzenými na lince KTL ve Škodě Auto Mladá Boleslav.

Vyhodnocení proběhlo ve dvou fázích:

##### **1) Vyhodnocení z pevnostního hlediska [15]**

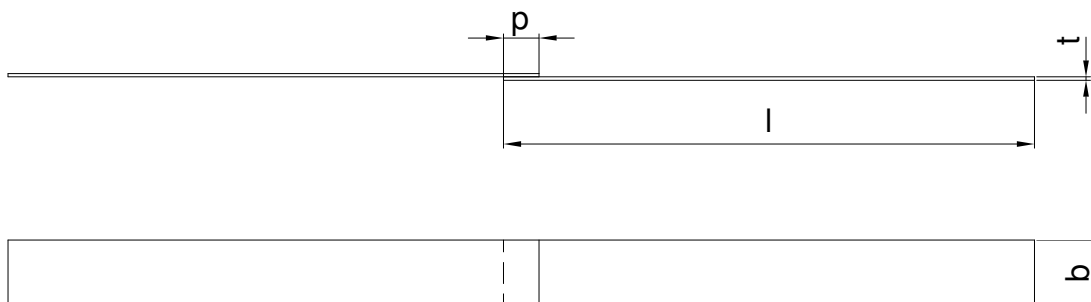
Hodnotila se smyková pevnost lepeného spoje při zatěžování v tahu dle normy PV 12.05, kdy výstupní hodnotou byla smyková pevnost v tahu.

##### ***Stanovení smykové pevnosti při zatěžování v tahu dle normy PV 12.05***

Při namáhání vzorku tahem dochází k působení sil ve směru jeho podélné osy. Vlivem předsazení plechů vzniká ohybové napětí, které namáhá lepenou vrstvu na tah, dochází tedy ke kombinovanému namáhání

vzorku. Tuto skutečnost norma PV 12.05 předpokládá a pevnost ve smyku, toto přídatné napětí již v sobě zahrnuje.

Tvar a rozměry zkušebních vzorků jsou patrné z obr. 12.



Obr. 12.: Rozměry zkušebních vzorků pro normu PV 12.05

Kde:  $l$  – délka vzorku:  $l = 150 \text{ mm}$

$b$  – šířka vzorku:  $b = 20 \text{ mm}$

$p$  – přeplátování:  $p = 10 \text{ mm}$

$t$  – tloušťka plechu [mm]

Pevnost ve smyku  $\tau$  [MPa] se vypočítá dle vztahu (2)

$$\tau = \frac{F_{\max}}{S} \quad (2)$$

kde:  $\tau$  – je pevnost ve smyku při zkoušce tahem [MPa],

$F_{\max}$  – je maximální tahová síla působící na lepený spoj [N],

$S$  – je plocha lepeného spoje [ $\text{mm}^2$ ]

Střední hodnota smykové pevnosti je vypočtena dle vztahu (3)

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

kde:  $x$  – je aritmetický průměr smykové pevnosti,

$x_i$  – je měřená hodnota každého vzorku,

$n$  – je počet měření

Ke každé střední hodnotě je dopočítána směrodatná odchylka  $s$  dle vztahu (4)

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n - 1} \quad (4)$$

## **2) Vyhodnocení dle typu porušení lepeného spoje**

Vlastní typy porušení popisuje norma ČSN ISO 10365 (viz.kapitola 2.1.7.) Hodnotily se tři typy porušení a to adhezivní (AF), kohezivní (CF) a speciální kohezivní porušení (SCF). Vyhodnocení typu porušení proběhlo vizuálně a vše bylo fotograficky z dokumentováno (viz příložené CD).

Výsledky měření jsou uvedeny ve formě tabulek a grafických závislostí jednotlivých parametrů.

## **3.2. Charakteristika použitých materiálů**

### **3.2.1. Použité substráty**

Pro vlastní zkoušky byly vybrány čtyři substráty, které se používají v automobilovém průmyslu na stavbu karoserii automobilu. Jde o ocelové plechy s povlakem na bázi zinku a fosfátu. Zinek tvoří ochrannou vrstvu zabraňující korozi. Fosfát kromě korozní ochrany plní řadu dalších funkcí.

- **EG+S250** (EG+ $\mu$ PH):

Elektrolyticky pozinkovaný plech (EG) s ochranou mikrofosfátovou vrstvou (S250, cca 20mg/m<sup>2</sup>), kde je fosfát jemně rozptýlený po zinkovém povlaku.

- **HDG:**

Hlubokotažný ocelový plech s ochrannou povrchovou vrstvou zinku, nanesenou na povrch plechu žárově (ponořením základního materiálu do lázně roztaveného zinku).

- **HDG+NIT** (HDG+ $\mu$ PH)

Hlubokotažný ocelový plech s ochrannou mikrofosfátovou vrstvou (NIT), kde je fosfát jemně rozptýlený po zinkovém povlaku.

- **EG+PH**

Fosfátovaný elektrolyticky pozinkovaný plech, kde je vrstvy fosfátu na zinkovém povlaku asi 10 x více než u mikrofosfátovaných povrchů.

### 3.2.2. Použité mazivo [16]

Při zjišťování vlivu vytvrzovacích parametrů na pevnost lepených spojů bylo použito antikorozi mazivo ANTICORIT PL 3802–39S typu Prelube tzn., ochranný antikorozi olej i tvářecí mazivo. Charakteristika maziva je uvedena v příloze 5.

### 3.2.3. Použitá lepidla

#### ***Betamate 1496V :***

Betamate 1496 je jednosložkové teplem vytvrditelné epoxidové lepidlo speciálně vyvinuté pro lepení automobilových karoserií. Toto lepidlo se užívá pro zvýšení trvanlivosti, odolnosti proti nárazu a tuhosti karosérie.

#### ***SikaPower 490/7 :***

Sikapower 490/7 je jednosložkové lepidlo, za tepla aplikované, vydrží vysoké teploty, je na epoxido-polyuretanové bázi. Sikapower 490/7 umožňuje strukturní spojení různých kovových částí. Lepidlo je vhodné k použití v kombinaci s bodovým svařováním, nýtováním a jiným mechanickým spojováním nebo jako částečná náhrada výše zmiňovaných spojení.

#### ***Betaguard RB 10 BV SKODA:***

Betaguard RB 10 BV byl vyvinut za účelem mechanického spojení dvou povrchů díky skelným částčkám, které způsobují přenos pevnosti do povrchů nezávisle na adhezivních složkách. Betaguard má kaučukovitý základ, je to bodově svařitelná těsnící hmota a vysoko pevnostní adhezivo, které je speciálně vyvinuté pro lepení karoserií, které nabízí dobrou adhezi vůči olejovým roztokům používaných v automobilovém průmyslu.

#### ***Terostat 5196 VW-25 :***

Terostat-5196VW-25 je bezrozpouštědlové, reaktivní, strukturní lepidlo na kov na bázi kaučuku, které je za běžné teploty vysoce viskózní, za vyšší teploty měkne a nanáší se podle typu nanášecího zařízení v požadovaném množství za jednotku času při teplotách cca 20 °C až 40 °C. Při teplotách nad 140 °C Terostat-5196VW-25 chemicky polymeruje.

Jednotlivé charakteristiky lepidel jsou uvedeny v materiálových listech v příloze 1,2,3,4.

### 3.3. Zjištění základních mechanických hodnot substrátů

Základní mechanické hodnoty byly zjištěny pomocí zkoušky tahem dle EN 10 002-1. Měření se provedlo na pěti vzorcích a z těchto hodnot se stanovila střední hodnota mechanických vlastností ( $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $A_{50}$ ).

Tab. 2.: Mechanické vlastnosti materiálů

Substrát	Mechanické vlastnosti	Hodnota
EG+S250	$R_m$ [ MPa ]	310,14
	$R_{p0,2}$ [ MPa ]	206,23
	$A_{50}$ [ % ]	44,15
HDG	$R_m$ [ MPa ]	312,14
	$R_{p0,2}$ [ MPa ]	220,79
	$A_{50}$ [ % ]	42,22
HDG+NIT	$R_m$ [ MPa ]	302,11
	$R_{p0,2}$ [ MPa ]	193,37
	$A_{50}$ [ % ]	47,04
EG+PH	$R_m$ [ MPa ]	317,25
	$R_{p0,2}$ [ MPa ]	212,12
	$A_{50}$ [ % ]	43,05

Tabulkové zkratky:  $R_m$  – smyková pevnost [MPa]

$R_{p0,2}$  – smyková pevnost [MPa]

$A_{50}$  – tažnost [ % ]

Mechanické vlastnosti zkoušených substrátů (*tab.2.*) byly v základních mechanických hodnotách ( $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $A_{50}$ ) srovnatelné a lze tedy předpokládat malý vliv v rozdílu mechanických vlastností substrátu na výslednou pevnost lepeného spoje

### 3.4. Postup přípravy vzorků

#### a) Vzorky vytvrzené v laboratoři TU Liberec

##### 1. Nastříhání vzorků

Vzorky byly nastříhány na tabulových nůžkách na požadovaný rozměr. Což pro zkoušku pevnosti ve smyku PV 12.05 bylo na délku  $150 \pm 1$  mm a šířku  $20 \pm 0,2$  mm. Pro kvalitní spojení substrátů byly z okrajů vzorků po nastříhání odstraněny ostriny pomocí pilníku.

## 2. Zjištění tloušťky substrátů

Pro každý substrát se měřila tloušťka na pěti vzorcích. Na každém vzorku se tloušťka měřila na pěti různých místech pomocí digitálního tloušťkoměru Mitutoyo model ID S150. Z naměřených hodnot se stanovila střední hodnota tloušťky.

Tab. 3.: Tloušťka plechů

Substrát	Tloušťka [mm]
EG+S250	0,754
HDG	0,747
HDG+NIT	0,747
EG+PH	0,712

## 3. Označení vzorku

Z důvodu snadného rozlišení vzorků, byly vzorky označeny 4 číslicemi, které označovaly druh substrátu, druh lepidla, použitou teplotu a dobu vytvrzování.

- 1. číslice – označovala použitý substrát : 1 – EG+S250  
2 – HDG  
3 – NIT+HDG  
4 – EG+PH
- 2. číslice – označovalo použité lepidlo : 1 – Betamate 1496V  
2 – Sikapower 490/7  
3 – Betaguard RB 10 BV SKODA  
4 – Terostat 5196VW-25
- 3. číslice – označovalo teplotu vytvrzování : 1 - 160 °C  
2 - 180 °C  
3 - 200 °C
- 4. číslice – označovalo dobu vytvrzování : 1 - 15 minut  
2 - 20 minut  
3 - 25 minut

U vzorků určených pro vytvrzení v KTL byly vyraženy pouze 2 číslice a to proto, že při vytvrzování v KTL proběhlo vše při jedné teplotě a jedné vytvrzovací době. Z tohoto důvodu odpadla 3 a 4 číslice.

#### **4. Orýsování vzorků**

Na vzorcích byly zhotoveny rysky ve vzdálenosti 10 mm od okraje vzorku. Orýsování se provedlo pro snadnější dodržení 10 mm vzdálenosti při přeplátování spoje.

#### **5. Odmaštění vzorků**

Jelikož jsou jednotlivé plechy při skladování namazány konzervačními mazivy, bylo nutno vzorky odmastit. Vlastní odmaštění proběhlo ve dvou fázích.

*V první fázi:*

Došlo k hrubému odmaštění (zbavení nečistot a k částečnému odmaštění). K hrubému odmaštění vzorků jsme použili bavlněnou textilií, která byla máčena v benzínu (Triclean D60).

*V druhé fázi:*

Došlo k hlavnímu odmaštění. Byla použita skleněná nádoba s obsahem benzínu, ve kterém se dané vzorky máčely a následně otíraly bavlněnou textilií napuštěnou též v benzínu.

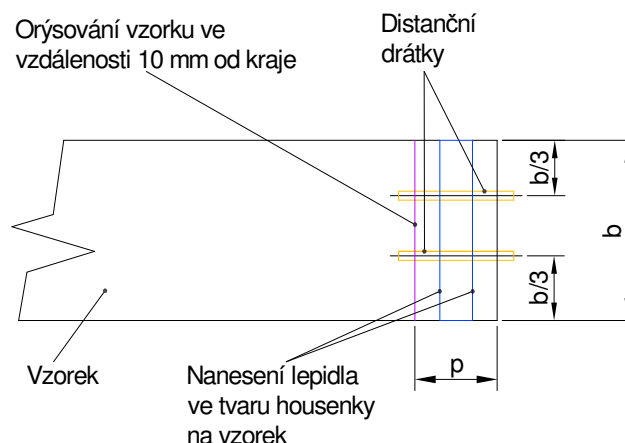
#### **6. Nanesení požadovaného množství maziva na vzorek**

Po tomto odmaštění byly vzorky rozděleny do 9 skupin podle teploty a doby vytvrzování. Přičemž se ještě každá podmínka rozdělila na polovinu (viz. bod 8). Na takto připravené vzorky bylo naneseno mazivo ANTICORIT PL 3802-39S v množství 3 g/m<sup>2</sup>. Mazivo bylo nanášeno bavlněným hadříkem, rovnoměrně po celém povrchu vzorku. Kontrola naneseného maziva byla provedena vážením na analytických vahách. Po nanesení maziva byly vzorky ponechány jednu hodinu ve vodorovné poloze, aby se zajistil rovnoměrný film maziva po celé ploše.

#### **7. Vlastní slepení vzorků**

Na připravený vzorek bylo naneseno lepidlo ve tvaru housenky (obr.13). Přibližně do jedné třetiny od okraje vzorku byly na lepidlo vloženy dva distanční drátky o průměru 0,2 mm. Tyto drátky zajistily po přiložení druhé části vzorku a sevření konstantní tloušťku lepidla. Poté se slepené vzorky zafixovaly svorkami. Takto zafixované vzorky se nechaly jednu hodinu odležet. Za tuto dobu lepidlo částečně absorbovalo nanesené mazivo. Po uplynutí jedné hodiny následovalo vytvrzení.





Obr. 13.: Nanesení lepidla ve tvaru housenky a vložení dvou distančních drátků

Kde:  $b$  – šířka vzorku:  $b = 20 \text{ mm}$

$p$  – přeplátování:  $p = 10 \text{ mm}$

### 8. Vytvrzovací proces

Vlastní vytvrzování probíhalo v sušárně Venticell 222 od firmy BMT (obr. 14). Pro vytvrzování bylo stanoveno 9 podmínek (3 teploty a 3 doby vytvrzování). Každá z podmínek obsahovala 80 vzorků. Přičemž se každá skupina vzorků dělila ještě na polovinu a to z důvodu rovnoměrného vytvrzování, protože vzorky byly vkládány do sušárny pouze v jedné vrstvě. Důvodem bylo použití pouze jednoho čidla na měření teploty vytvrzování. Pro zachování přehlednosti se vždy první polovina podmínky označila žlutou barvou. Toto bylo učiněno proto, aby mohl být každý vzorek přiřazen ke svému diagramu průběhu teplot.

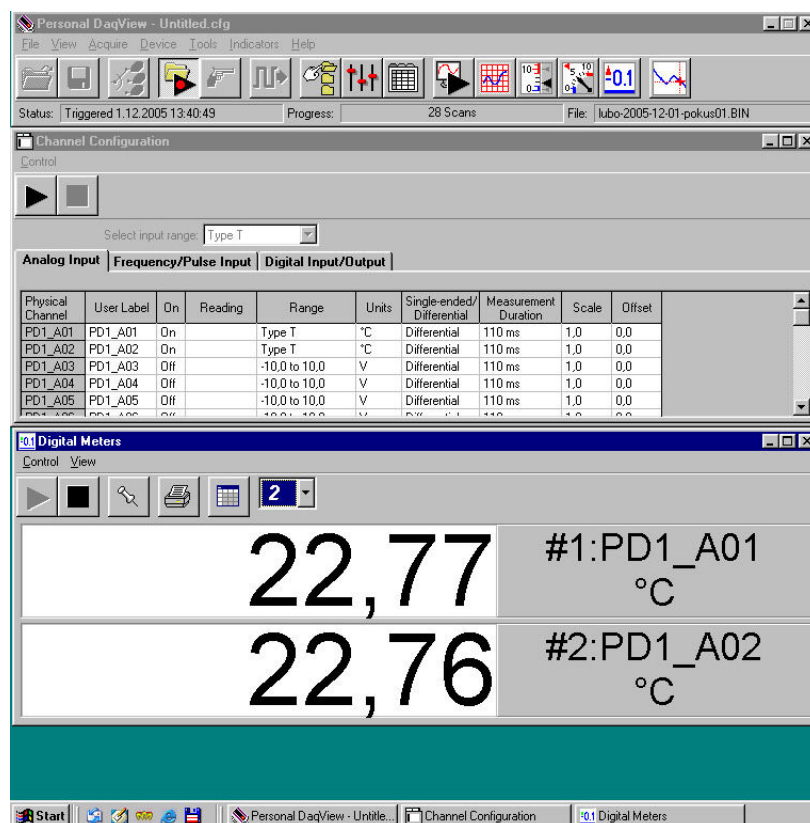
Tudíž vlastní vytvrzování proběhlo v 18 provedeních. U každé dávky jsme pomocí dvou termočlánků měřili teplotu vzduchu a teplotu vzorku pomocí měřicího zařízení OMB-DAG-56 (obr. 15) a pomocí PC programu Personal Daqview (obr. 16).



Obr. 14.: Sušárna Venticell



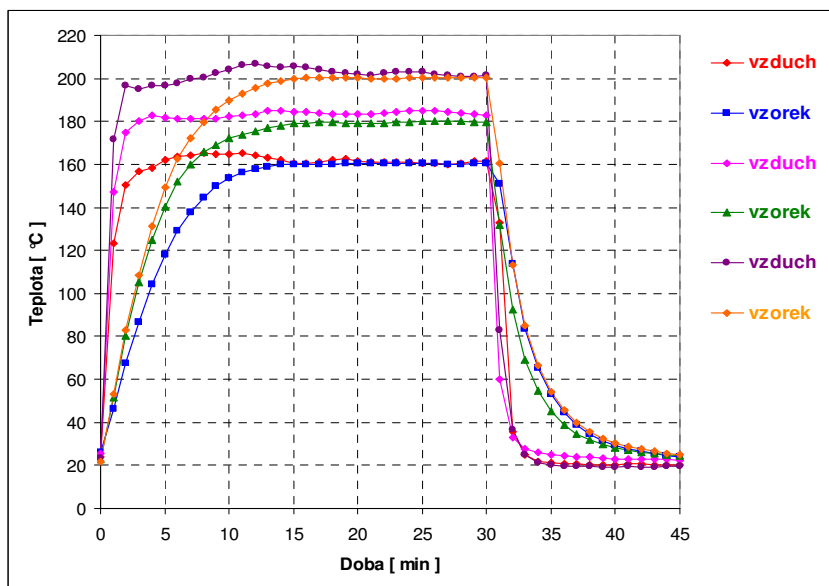
Obr. 15.: Měřicí zařízení OMB-DAG-56



Obr. 16.: PC program Personal Daqview

Teploty se zaznamenávaly vždy po šesti sekundách a tím se získaly křivky charakterizující průběh teploty v sušárně od vložení vzorků až po vyjmutí a následné ochlazení vzorků při pokojové teplotě. Pro přehlednost grafické části byly do grafu zaznamenávány hodnoty křivky po jedné minutě. Pro každou vytvrzovací teplotu byla sušárna předeřhřátá na teplotu o 40 °C vyšší než-li teplota na požadovaném vzorku. Doba náběhu na požadovanou teplotu byla stanovena na 15 minut. Jednotlivé grafy se liší dobou vytvrzování (15, 20 a 25 min.).

Na *obr. 17.* je znázorněn průběh teploty vytvrzování vzorků při 160 °C, 180 °C, 200 °C a době vytvrzování 15 minut. Je zde patrný rychlejší ohřev vzduchu, než-li vlastních vzorků. To je způsobené tím, že vzorky do sebe musí nakumulovat teplo. Pro požadovanou teplotu vytvrzování navyšujeme teplotu vzduchu o několik stupňů výše. Postupně se teplota vzduchu a vzorku vyrovnává. Tento proces vyrovnávání se nazývá náběh na vytvrzovací teplotu. Poté následuje setrvání na teplotě po stanovenou dobu, která je zde 15 minut a dochází tak k vlastnímu vytvrzování. Posledním krokem je vyjmutí vzorků ze sušárny a chladnutí na vzduchu.



Obr. 17.: Průběh teploty vytvrzování

Pro lepší přehlednost jsou jednotlivé grafy zpracovány v příloze 6.

## 9. Chladnutí vzorku

Po vyjmutí ze sušárny se vzorky nechaly 24 hodin kondicionovat při pokojové teplotě v laboratorních podmínkách. Následovalo odejmutí

fixačních svorek. Tímto jsme získali vzorky ke stanovení smykové pevnosti při zatěžování v tahu dle normy PV 12.05.

#### **10. Stanovení smykové pevnosti při zatěžování v tahu dle normy PV 12.05**

Vlastní natrhání vzorků proběhlo dle normy PV 12.05. Pro zjištění hodnot pevnosti ve smyku bylo nutné zjistit sílu potřebnou k roztržení jednotlivých vzorků. K tomuto účelu nám posloužilo statické trhací zařízení TIRAtest 2300 s použitím tenzorové měřicí hlavy o rozsahu 0 až 10 kN. A za pomoci softwaru Labtest 3.11 bylo možno přímo určit napětí ve smyku.

#### **11. Stanovení typu porušení lepeného spoje**

Určení porušení lepeného spoje na jednotlivých vzorcích proběhlo vizuálním zkoumáním dle normy ČSN ISO 10365. Hodnotilo se AF – adhezivní porušení, CF – kohezní porušení, SCF – speciální porušení.

#### **b) Vzorky určené k vytvrzení KTL**

Postup přípravy vzorků je stejný jako v kapitole 3.4. a) pouze bod 8 a 9 se lišil. Po slepení vzorků v laboratoři TU Liberec, byly vzorky odeslány k vytvrzení do Škody Auto Mladá Boleslav, kde prošli linkou KTL (katodforezní lakovací linka). Na vzorcích určených k vytvrzení v KTL byly navíc ještě na jednom konci navrtány díry pro zavěšení na háček při průchodu linkou KTL. Po vlastním vytvrzení vzorků, byly tyto vzorky zaslány zpět k vyhodnocení do laboratoře TU v Liberci.

## 4. Výsledky experimentu

### 4.1. Pevnost lepeného spoje dle normy PV 12.05

Jednotlivé zkoušky se prováděly na pěti vzorcích. Z naměřených hodnot byla stanovena střední hodnota smykové pevnosti v tahu  $\tau$  a směrodatná odchylka  $s$ .

#### 4.1.1. Betamate 1496V

Tab. 4.: Pevnost ve smyku dle normy PV 12.05 pro substráty slepené lepidlem Betamate 1496V– 1. část

Substrát	$T_v$ [°C]	$t_v$ [min]	Číslo měření					$\tau$ [MPa]	$s$ [MPa]
			1	2	3	4	5		
EG + S250	160	15	22,67	22,53	22,83	22,48	22,37	22,58	0,18
		20	23,10	22,57	23,42	22,63	23,33	23,01	0,39
		25	22,97	22,71	22,82	23,06	23,09	22,93	0,16
	180	15	23,09	23,58	22,96	23,65	23,37	23,33	0,30
		20	23,74	23,55	23,33	23,45	23,75	23,56	0,18
		25	23,06	23,23	22,43	23,43	23,21	23,07	0,38
	200	15	22,70	22,93	23,04	22,57	23,20	22,89	0,25
		20	23,08	23,00	23,46	22,81	23,45	23,16	0,29
		25	22,82	22,52	22,65	23,51	22,96	22,89	0,38
HDG	160	15	22,53	22,46	23,21	23,11	23,10	22,88	0,36
		20	23,38	23,40	22,94	23,31	23,50	23,31	0,22
		25	23,01	23,26	23,72	23,57	23,73	23,46	0,32
	180	15	23,60	24,16	24,16	23,63	24,29	23,97	0,33
		20	24,19	24,16	24,14	24,44	24,00	24,19	0,16
		25	23,78	23,66	23,24	23,98	24,06	23,74	0,32
	200	15	22,68	23,66	23,50	22,80	23,38	23,22	0,48
		20	23,32	23,55	23,42	23,34	23,33	23,39	0,10
		25	23,74	23,04	22,91	23,37	23,42	23,29	0,33

Tabulkové zkratky:  $T_v$  – teplota vytvrzování [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_v$  – doba vytvrzování [min]

$\tau$  – smyková pevnost [MPa]

s - směrodatná odchylka [MPa]

Tab. 4.: Pevnost ve smyku dle normy PV 12.05 pro substráty slepené lepidlem Betamate 1496V – 2. část

Substrát	$T_v$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$t_v$ [min]	Číslo měření					$\tau$ [MPa]	s [MPa]
			1	2	3	4	5		
HDG + NIT	160	15	21,43	21,70	21,84	22,30	21,81	21,82	0,32
		20	22,30	22,39	22,74	22,04	22,59	22,41	0,27
		25	21,60	22,70	22,18	22,17	22,03	22,14	0,39
	180	15	22,29	22,84	22,28	22,21	22,58	22,44	0,27
		20	22,68	22,65	21,98	22,61	22,46	22,47	0,29
		25	22,41	22,26	21,87	22,42	21,91	22,17	0,27
	200	15	21,65	21,91	21,69	21,50	21,75	21,70	0,15
		20	21,62	21,46	21,04	20,81	20,41	21,07	0,49
		25	21,07	21,40	21,05	21,11	20,88	21,10	0,19
EG + PH	160	15	22,40	21,34	22,40	22,16	22,07	22,07	0,43
		20	22,49	22,43	22,54	22,33	22,69	22,50	0,13
		25	22,84	21,99	22,34	22,21	22,41	22,36	0,31
	180	15	22,47	22,52	23,19	23,24	23,08	22,90	0,38
		20	23,00	21,91	23,01	23,06	23,34	23,06	0,17
		25	23,10	23,27	22,64	23,10	22,97	23,01	0,23
	200	15	22,21	21,80	22,17	22,46	22,36	22,20	0,25
		20	21,52	21,59	20,51	20,70	20,53	20,98	0,53
		25	21,11	20,80	21,27	21,25	21,15	21,08	0,27

**4.1.2. SikaPower 490/7**

Tab. 5.: Pevnost ve smyku dle normy PV 12.05 pro substráty slepené lepidlem SikaPower 490/7 – 1. část

Substrát	T <sub>v</sub> [°C]	t <sub>v</sub> [min]	Číslo měření					τ [MPa]	s [MPa]
			1	2	3	4	5		
EG + S250	160	15	20,13	19,71	20,56	20,31	20,26	20,20	0,31
		20	20,45	20,36	20,45	19,62	20,37	20,25	0,36
		25	21,41	21,66	21,64	21,72	21,13	21,51	0,24
	180	15	23,01	22,20	22,89	22,27	22,32	22,54	0,38
		20	22,95	23,10	23,07	22,86	22,70	22,94	0,16
		25	22,82	22,99	23,09	22,74	22,68	22,86	0,17
	200	15	22,38	22,90	22,91	22,43	23,25	22,80	0,40
		20	23,55	22,75	23,14	22,98	23,33	23,15	0,31
		25	23,07	22,65	23,04	23,09	23,03	22,97	0,18
HDG	160	15	20,29	19,48	19,77	20,04	19,85	19,89	0,30
		20	20,65	21,64	21,68	20,78	21,52	21,25	0,50
		25	20,72	20,66	20,52	20,28	21,00	20,63	0,27
	180	15	22,57	22,08	22,14	22,06	22,44	22,26	0,23
		20	23,22	23,06	23,37	23,36	23,77	23,36	0,26
		25	23,26	23,43	23,53	23,57	23,04	23,37	0,22
	200	15	23,69	23,76	23,58	23,17	23,20	23,48	0,26
		20	22,44	22,77	22,98	22,72	22,43	22,67	0,23
		25	22,80	22,38	23,07	22,79	22,84	22,78	0,25

Tab. 5.: Pevnost ve smyku dle normy PV 12.05 pro substráty slepené lepidlem SikaPower 490/7 – 2.část

Substrát	T <sub>v</sub> [°C]	t <sub>v</sub> [min]	Číslo měření					τ [MPa]	s [MPa]
			1	2	3	4	5		
HDG + NIT	160	15	18,26	18,90	18,50	18,04	18,07	18,35	0,36
		20	19,70	20,19	19,59	19,52	19,64	19,73	0,27
		25	19,79	20,56	20,07	19,84	20,19	20,09	0,31
	180	15	21,43	21,96	21,69	21,65	21,00	21,55	0,36
		20	21,62	21,78	21,53	21,55	21,36	21,57	0,15
		25	21,39	21,54	21,68	21,55	21,38	21,51	0,13
	200	15	21,29	21,21	21,26	21,34	21,60	21,34	0,15
		20	22,11	21,98	21,58	21,60	21,75	21,79	0,22
		25	21,37	21,58	22,03	21,73	21,69	21,68	0,24
EG + PH	160	15	19,11	18,94	18,72	19,10	18,85	18,94	0,17
		20	19,98	19,94	19,80	20,32	20,34	20,07	0,24
		25	20,59	20,53	20,71	20,87	20,33	20,61	0,20
	180	15	22,27	21,69	22,22	21,52	21,85	21,89	0,34
		20	22,11	21,81	22,29	21,69	21,99	21,98	0,24
		25	21,93	21,89	21,96	21,81	21,82	21,88	0,07
	200	15	22,36	22,18	22,06	21,89	21,98	22,09	0,18
		20	21,62	22,13	21,88	22,08	21,82	21,91	0,21
		25	21,90	22,01	21,85	21,86	21,87	21,90	0,07



**4.1.3. Betaguard RB 10 BV SKODA**

Tab. 6.: Pevnost ve smyku dle normy PV 12.05 pro substráty slepené lepidlem Betaguard RB 10 BV SKODA – 1. část

Substrát	T <sub>v</sub> [°C]	t <sub>v</sub> [min]	Číslo měření					τ [MPa]	s [MPa]
			1	2	3	4	5		
EG + S250	160	15	14,52	14,55	14,62	14,34	14,78	14,56	0,16
		20	14,01	14,31	14,47	14,68	14,34	14,36	0,25
		25	14,98	14,80	14,81	15,05	15,28	14,99	0,20
	180	15	16,06	15,92	16,31	15,34	15,41	15,81	0,42
		20	15,32	15,50	15,81	15,43	15,98	15,61	0,28
		25	15,64	15,07	16,20	15,50	15,09	15,50	0,47
	200	15	16,33	16,74	16,25	16,61	16,12	16,41	0,26
		20	16,19	16,64	16,42	17,03	16,93	16,64	0,35
		25	16,66	16,54	15,80	15,44	16,80	16,38	0,59
HDG	160	15	14,73	14,06	13,82	14,18	14,70	14,30	0,40
		20	13,94	13,76	13,97	14,68	13,65	14,00	0,48
		25	14,43	14,84	14,14	14,99	14,93	14,67	0,37
	180	15	14,31	15,36	14,66	15,38	15,25	14,99	0,48
		20	15,23	14,80	15,18	15,53	15,36	15,22	0,27
		25	15,06	15,34	14,82	15,27	15,12	15,12	0,20
	200	15	14,92	14,81	15,09	15,25	14,65	14,94	0,22
		20	14,76	14,96	15,04	15,48	15,53	15,16	0,34
		25	15,28	14,76	14,40	14,94	14,50	14,77	0,36

Tab. 6.: Pevnost ve smyku dle normy PV 12.05 pro substráty slepené lepidlem Betaguard RB 10 BV SKODA – 2. část

Substrát	T <sub>v</sub> [°C]	t <sub>v</sub> [min]	Číslo měření					τ [MPa]	s [MPa]
			1	2	3	4	5		
HDG + NIT	160	15	12,85	12,79	13,11	12,87	13,13	12,95	0,16
		20	13,46	13,63	13,90	12,65	13,26	13,38	0,47
		25	13,89	14,25	14,62	14,09	14,35	14,24	0,27
	180	15	14,37	14,81	14,56	14,45	14,16	14,47	0,24
		20	14,29	14,37	13,79	14,05	13,84	14,07	0,26
		25	14,12	14,25	14,55	14,50	13,85	14,25	0,29
	200	15	13,69	14,18	13,36	14,16	14,34	13,95	0,41
		20	13,75	14,21	13,90	13,57	14,50	13,99	0,37
		25	13,97	14,47	14,04	14,44	13,67	14,12	0,34
EG + PH	160	15	13,52	13,98	14,14	13,86	13,92	13,88	0,23
		20	13,80	13,67	13,82	13,48	14,48	13,85	0,38
		25	14,73	14,16	14,25	15,01	14,82	14,59	0,37
	180	15	14,19	14,38	14,04	14,63	14,69	14,39	0,28
		20	14,42	14,46	14,75	14,09	13,85	14,31	0,35
		25	14,34	14,10	13,73	13,24	13,37	13,75	0,47
	200	15	13,23	13,01	13,32	13,64	13,27	13,29	0,23
		20	12,90	13,12	13,36	13,41	13,27	13,21	0,21
		25	13,41	13,81	12,79	12,76	12,81	13,11	0,47

**4.1.4. Terostat 5196 VW-25**

Tab. 7.: Pevnost ve smyku dle normy PV 12.05 pro substráty slepené lepidlem Terostat 5196 VW–25 – 1.část

Substrát	T <sub>v</sub> [°C]	t <sub>v</sub> [min]	Číslo měření					τ [MPa]	s [MPa]
			1	2	3	4	5		
EG + S250	160	15	2,35	3,18	2,48	3,00	2,55	2,71	0,36
		20	2,82	3,43	3,47	3,29	2,91	3,18	0,30
		25	4,06	3,82	4,30	4,06	4,95	4,24	0,43
	180	15	15,95	15,98	15,16	15,11	15,48	15,53	0,42
		20	17,18	16,76	17,47	16,55	17,42	17,07	0,40
		25	16,94	17,31	16,81	16,63	16,89	16,92	0,25
	200	15	19,08	19,42	19,58	20,18	19,23	19,50	0,43
		20	19,80	19,48	20,02	18,87	20,00	19,64	0,48
		25	20,35	20,39	20,12	20,35	19,71	20,18	0,29
HDG	160	15	2,92	1,97	2,07	2,28	3,10	2,47	0,51
		20	2,78	2,70	3,00	3,17	3,06	2,94	0,20
		25	4,65	4,10	4,73	4,75	4,12	4,47	0,33
	180	15	14,51	14,64	14,00	13,69	13,76	14,12	0,44
		20	17,03	17,18	16,19	16,75	16,30	16,69	0,44
		25	17,62	17,92	17,40	18,11	18,41	17,89	0,40
	200	15	19,74	20,19	19,16	19,26	19,46	19,56	0,42
		20	19,38	19,49	19,93	19,90	20,28	19,80	0,36
		25	20,63	20,57	20,06	20,74	19,74	20,35	0,43

Tab. 7.: Pevnost ve smyku dle normy PV 12.05 pro substráty slepené lepidlem Terostat 5196 VW–25 - 2.část

Substrát	T <sub>v</sub> [°C]	t <sub>v</sub> [min]	Číslo měření					τ [MPa]	s [MPa]
			1	2	3	4	5		
HDG + NIT	160	15	1,85	1,93	2,48	2,75	2,39	2,28	0,38
		20	2,76	2,83	3,53	3,18	3,06	3,07	0,31
		25	4,63	4,52	4,75	4,69	4,17	4,55	0,23
	180	15	15,99	15,99	16,19	15,32	15,31	15,76	0,42
		20	14,84	14,83	15,60	15,65	15,29	15,24	0,40
		25	16,72	16,49	16,40	17,17	16,59	16,68	0,30
	200	15	18,02	17,26	17,94	17,61	17,05	17,58	0,42
		20	18,40	18,00	18,36	17,32	18,16	18,05	0,44
		25	18,32	18,33	18,10	18,33	18,18	18,25	0,11
EG + PH	160	15	3,26	3,02	2,73	2,94	2,31	2,85	0,36
		20	3,62	3,336	2,82	2,84	2,85	3,10	0,37
		25	4,18	4,30	4,00	4,80	5,05	4,46	0,44
	180	15	16,09	16,36	16,16	15,67	15,51	15,96	0,36
		20	14,53	14,95	14,49	14,98	15,43	14,88	0,38
		25	16,05	15,85	15,63	15,97	16,44	15,99	0,30
	200	15	16,63	16,78	16,67	16,41	16,99	16,70	0,21
		20	16,51	16,96	17,25	17,23	17,53	17,10	0,39
		25	16,96	17,06	17,51	17,47	17,21	17,24	0,24

## 4.2. Typ porušení lepeného spoje dle ČSN ISO 10365

Tab. 8. : Typy porušení lepeného spoje na vzorcích po zkoušce PV 12.05

- 1. část

Sub- strát	T <sub>v</sub> [°C]	t <sub>v</sub> [min]	Lepidlo											
			Betamate 1496V			SikaPower 490/7			Betaguard RB 10 BV SKODA			Terostat 5196VW-25		
			CF [%]	SCF [%]	AF [%]	CF [%]	SCF [%]	AF [%]	CF [%]	SCF [%]	AF [%]	CF [%]	SCF [%]	AF [%]
EG + S250	160	15	0	95	5	30	70	0	0	100	0	70	30	0
		20	0	95	5	0	100	0	0	100	0	70	30	0
		25	0	95	5	0	100	0	0	100	0	70	30	0
	180	15	0	95	5	0	100	0	0	100	0	80	20	0
		20	0	95	5	0	100	0	0	100	0	80	20	0
		25	0	95	5	0	100	0	0	100	0	80	20	0
	200	15	0	100	0	0	100	0	0	100	0	80	20	0
		20	0	100	0	0	100	0	0	100	0	80	20	0
		25	0	100	0	0	100	0	0	100	0	80	20	0
HDG	160	15	0	95	5	0	100	0	0	70	30	70	30	0
		20	0	95	5	0	100	0	0	70	30	70	30	0
		25	0	95	5	0	100	0	0	80	20	70	30	0
	180	15	0	95	5	0	100	0	0	90	10	80	20	0
		20	0	95	5	0	100	0	0	100	0	80	20	0
		25	0	95	5	0	100	0	0	100	0	80	20	0
	200	15	0	100	0	0	100	0	0	100	0	80	20	0
		20	0	100	0	0	100	0	0	100	0	80	20	0
		25	0	100	0	0	100	0	0	100	0	80	20	0

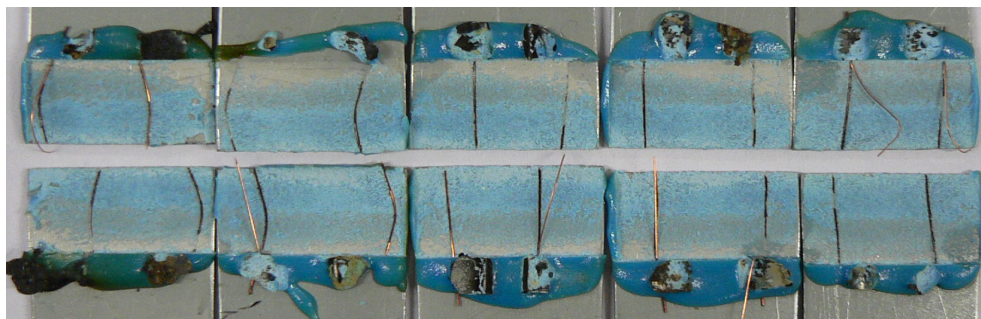
Tabulkové zkratky: Adhezivní porušení (AF)

Kohezní porušení (CF)

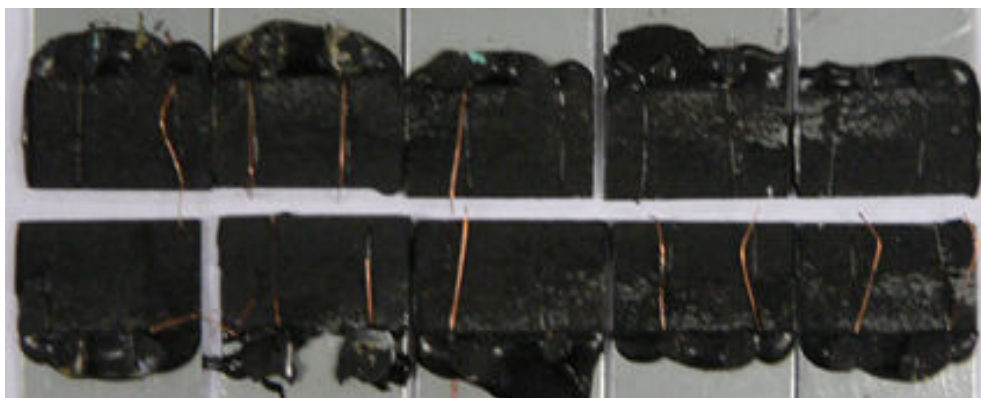
Speciální kohezní porušení (SCF)

Tab. 8.: Typy porušení lepeného spoje na vzorcích po zkoušce PV 12.05  
- 2. část

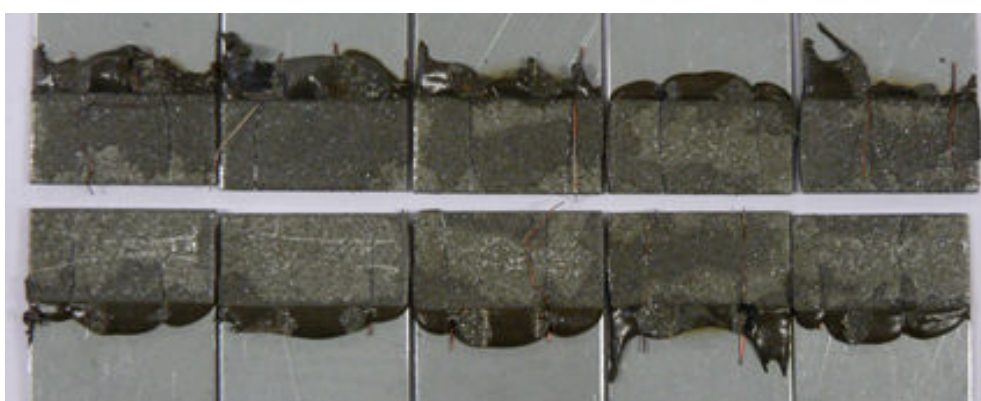
Sub- strát	$T_v$ [°C]	$t_v$ [min]	Lepidlo											
			Betamate 1496V			SikaPower 490/7			Betaguard RB 10 BV SKODA			Terostat 5196VW-25		
			CF [%]	SCF [%]	AF [%]	CF [%]	SCF [%]	AF [%]	CF [%]	SCF [%]	AF [%]	CF [%]	SCF [%]	AF [%]
HDG + NIT	160	15	0	90	10	0	100	0	0	60	40	70	30	0
		20	0	95	5	0	100	0	0	60	40	70	30	0
		25	0	95	5	0	100	0	0	70	30	70	30	0
	180	15	0	95	5	0	100	0	0	85	15	80	20	0
		20	0	95	5	0	100	0	0	90	10	80	20	0
		25	0	95	5	0	100	0	0	95	5	80	20	0
	200	15	0	95	5	0	100	0	0	100	0	80	20	0
		20	0	100	0	0	100	0	0	100	0	80	20	0
		25	0	100	0	0	100	0	0	100	0	80	20	0
EG + PH	160	15	0	90	10	0	100	0	0	100	0	70	30	0
		20	0	90	10	0	100	0	0	100	0	70	30	0
		25	0	90	10	0	100	0	0	100	0	70	30	0
	180	15	0	90	10	0	100	0	0	100	0	70	30	0
		20	0	95	5	0	100	0	0	100	0	80	20	0
		25	0	95	5	0	100	0	0	100	0	80	20	0
	200	15	0	100	0	0	100	0	0	100	0	80	20	0
		20	0	100	0	0	100	0	0	100	0	80	20	0
		25	0	100	0	0	100	0	0	100	0	80	20	0



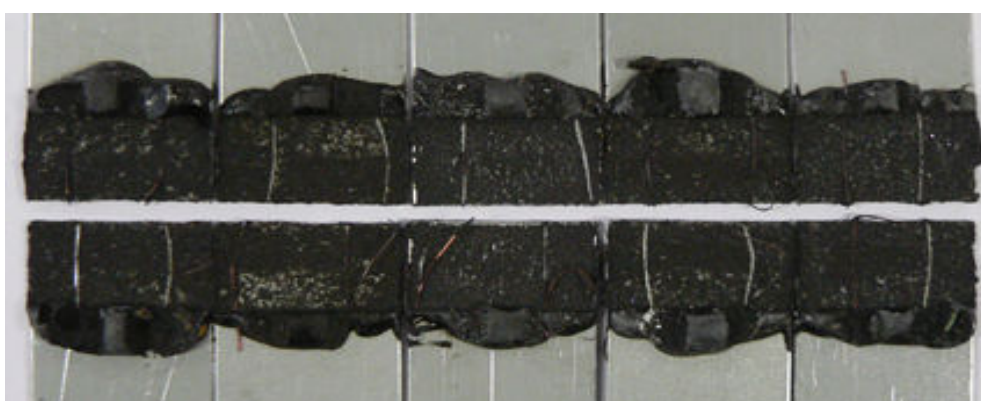
Obr. 18.: Příklad vzorků substrátu EG+S250 slepené lepidlem  
Betamate 1496V při teplotě 160 °C a době vytvrzování 15 minut



Obr. 19.: Příklad vzorků substrátu EG+S250 slepené lepidlem SikaPower 490/7 při teplotě 160 °C a době vytvrzování 15 minut



Obr. 20.: Příklad vzorků substrátu EG+S250 slepené lepidlem Betaguard RB 10 BV SKODA při teplotě 160 °C a době vytvrzování 15 minut



Obr. 21.: Příklad vzorků substrátu EG+S250 slepené lepidlem Terostat 5196VW-25 při teplotě 160 °C a době vytvrzování 15 minut

Ostatní příklady vzorků jsou zobrazeny na přiloženém CD (příloha 9).

### 4.3. Pevnost lepeného spoje po KTL dle normy PV 12.05

Jednotlivé zkoušky měly být prováděny na pěti vzorcích. Špatnou manipulací některých z nich došlo při převozu z Liberce do Mladé Boleslavi k jejich poškození. Z toho důvodu se vyhodnocovala smyková pevnost v tahu pouze na třech vzorcích. Z naměřených hodnot byla stanovena střední hodnota smykové pevnosti v tahu  $\tau$  a směrodatná odchylka  $s$ .

Tab. 9.: Pevnost ve smyku dle normy PV 12.05 pro vzorky KTL

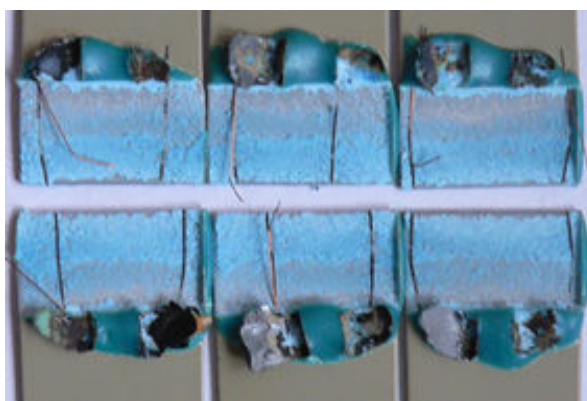
Substrát	Lepidlo	Číslo měření			$\tau$ [MPa]	$s$ [MPa]
		1	2	3		
EG+S250	Betamate 1496 V	23	22,99	23,41	23,13	0,24
	SikaPower 490/7	22,58	22,37	22,1	22,35	0,24
	Betaguard RB 10 BV SKODA	15,71	16,07	16,31	16,03	0,21
	Terostat 5196VW-25	13,44	13,98	13,92	13,78	0,29
HDG	Betamate 1496 V	23,25	23,38	23,03	23,41	0,16
	SikaPower 490/7	22,64	22,4	22,6	22,54	0,09
	Betaguard RB 10 BV SKODA	15,51	14,93	14,9	15,11	0,24
	Terostat 5196VW-25	14,56	14,49	14,09	14,38	0,26
NIT+HDG	Betamate 1496 V	22,11	21,76	21,79	21,89	0,2
	SikaPower 490/7	20,91	21,57	21,36	21,28	0,34
	Betaguard RB 10 BV SKODA	14,79	14,98	14,26	13,98	0,37
	Terostat 5196VW-25	13,78	13,02	13,28	13,36	0,39
EG+PH	Betamate 1496 V	21,83	21,76	21,59	21,73	0,12
	SikaPower 490/7	21,69	21,15	21,87	21,57	0,37
	Betaguard RB 10 BV SKODA	14,23	14,63	14,21	14,36	0,24
	Terostat 5196VW-25	14,17	13,98	14,49	14,2	0,27



#### 4.4. Typ porušení lepeného spoje po KTL dle ČSN ISO 10365

Tab. 10.: Typy porušení lepeného spoje na vzorcích po zkoušce PV 12.05

Substrát	Lepidlo											
	Betamate 1496V			SikaPower 490/7			Betaguard RB 10 BV SKODA			Terostat 5196 VW-25		
	CF [%]	SCF [%]	AF [%]	CF [%]	SCF [%]	AF [%]	CF [%]	SCF [%]	AF [%]	CF [%]	SCF [%]	AF [%]
EG+S250	0	95	5	0	95	5	0	100	0	80	20	0
HDG	0	95	5	0	100	0	0	100	0	80	20	0
NIT+HDG	0	95	5	0	100	0	0	100	0	80	20	0
EG + PH	0	95	5	0	100	0	0	100	0	80	20	0



Obr. 22.: Příklad vzorků substrátu EG+S250 slepené lepidlem  
Betamate 1496V po KTL

Ostatní příklady vzorků jsou zobrazeny na přiloženém CD (příloha 9).

#### 4.5. Hodnocení naměřených výsledků

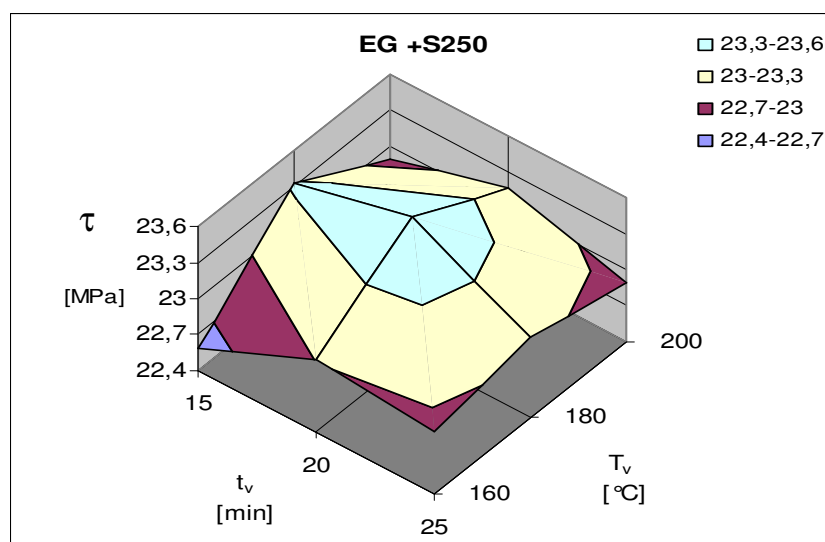
V této kapitole byly formou grafů z naměřených hodnot znázorněny a vyhodnoceny výsledky experimentu. Pro znázornění pevnosti ve smyku v závislosti na teplotě a době vytvrzování byly pro každé lepidlo a použitý substrát sestrojeny 3D grafy. A dále byly sestrojeny grafy zachycující typ porušení v závislosti na parametrech vytvrzování.

#### 4.5.1. Hodnocení lepidla Betamate 1496V

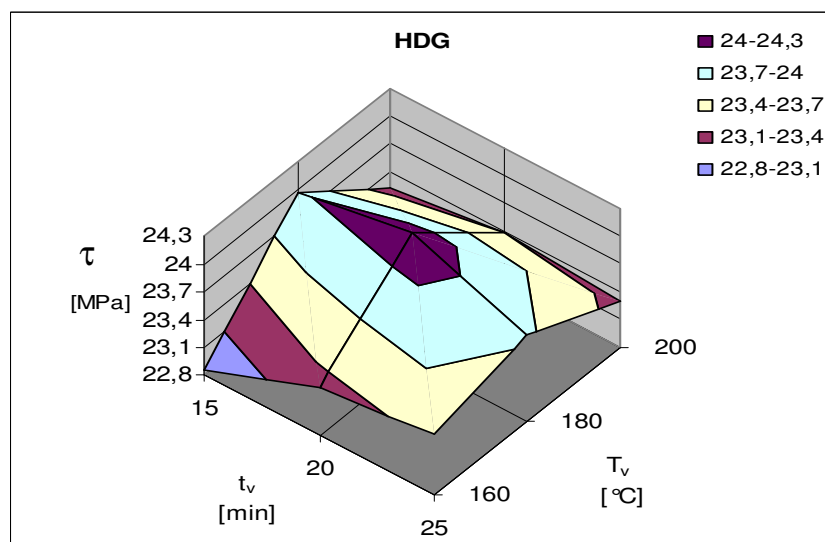
Z grafu 1., 2., 3. a 4. je patrné, že nejvyšších pevností se dosahovalo při teplotě 180 °C a době vytvrzování 20 minut. Až do dosažení této teploty a doby vytvrzování pevnost nepatrně rostla, za touto hranicí pevnost mírně klesala. Nejvyšší pevnost při použití lepidla *Betamate 1496V* vykazoval substrát *HDG*.

Maximální pevnost byla u substrátu *HDG* 24,19 MPa při 180 °C a 20 min. vytvrzování. U *EG+S250* to byla hodnota 23,56 MPa při stejných vytvrzovacích parametrech. U *EG+PH* je to 23,06 MPa. Nejnižší maximální pevnost vykazoval substrát *HDG+NIT*, kde byla maximální pevnost 22,47 MPa.

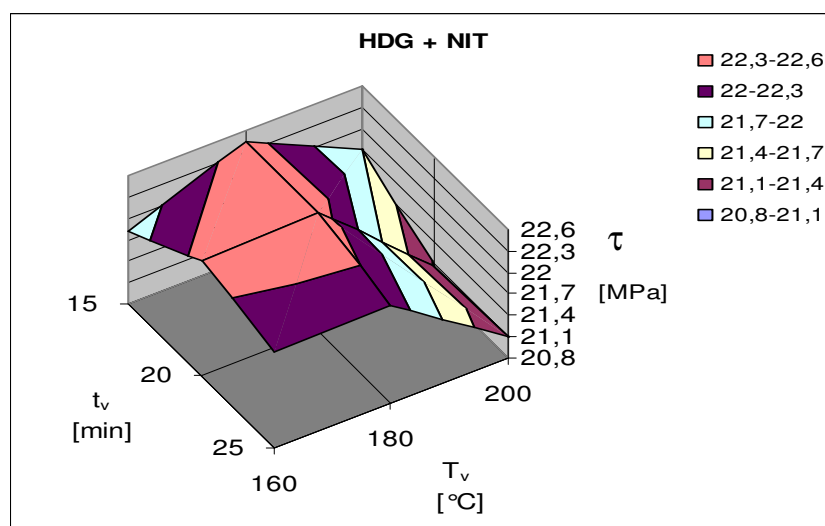
Z grafu 5., 6., 7. a 8. je patrné, že se na porušení po zkoušce pevnosti smykem při teplotách 160 a 180 °C podílí 5 až 10% adhezivního porušení a zbylé porušení je speciální kohezní porušení. Při teplotě 200 °C (až na jednu výjimku a to u substrátu *HDG+NIT*, kdy se na porušení podílí 5% adhezivní porušení a zbylé porušení je speciální kohezní porušení) se na porušení podílí 100% speciální kohezní porušení.



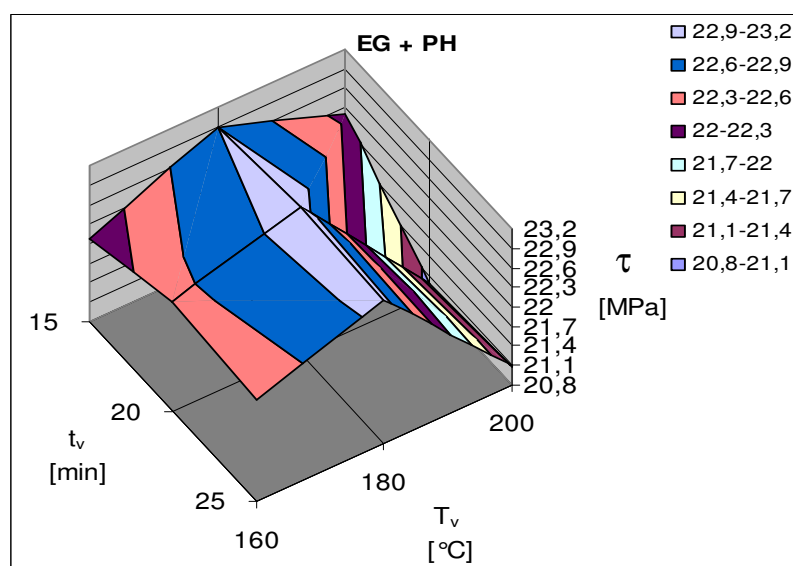
Graf 1.: Pevnost ve smyku lepidla Betamate 1496V pro substrát EG+S250.



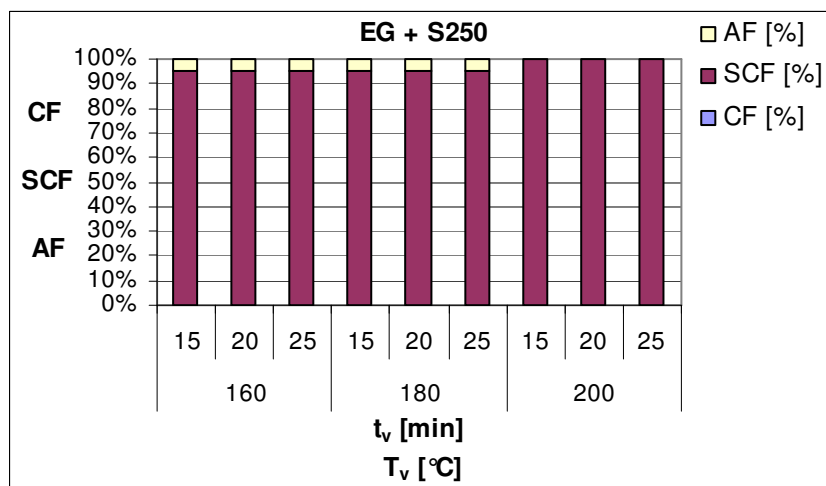
Graf 2.: Pevnost ve smyku lepidla Betamate 1496V pro substrát HDG.



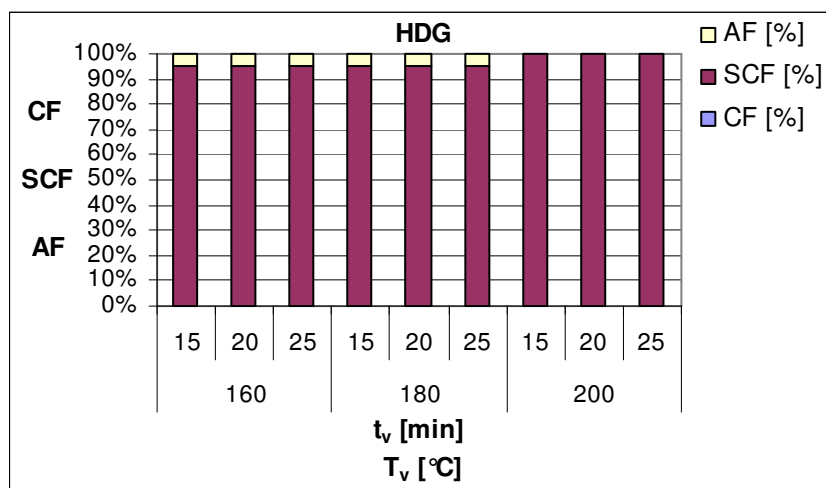
Graf 3.: Pevnost ve smyku lepidla Betamate 1496V pro substrát HDG+NIT.



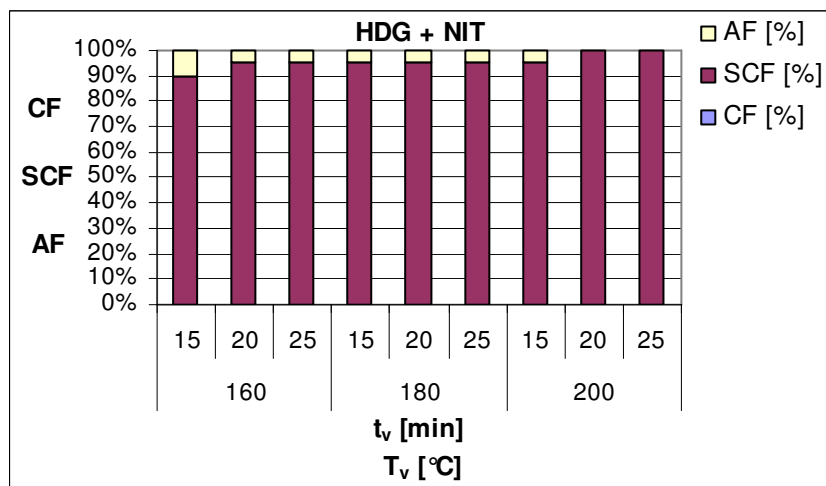
Graf 4.: Pevnost ve smyku lepidla Betamate 1496V pro substrát EG+PH



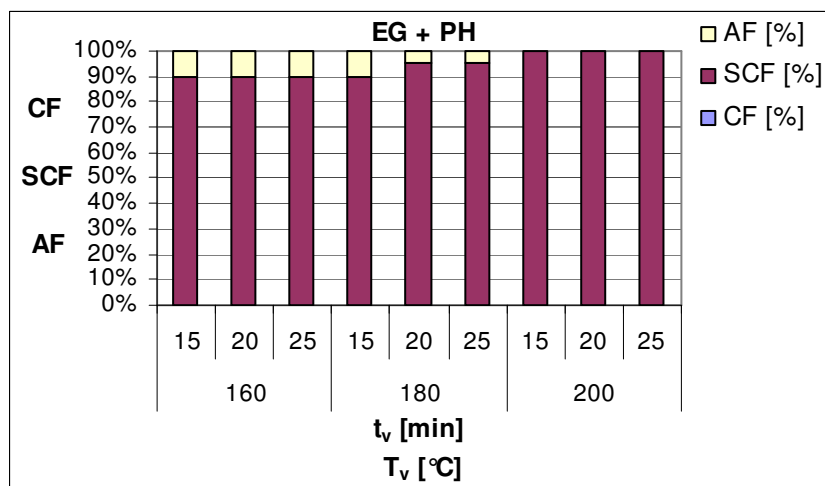
Graf 5.: Typ porušení lepeného spoje lepidla Betamate 1496V pro substrát EG+S250.



Graf 6.: Typ porušení lepeného spoje lepidla Betamate 1496V pro substrát HDG.



Graf 7.: Typ porušení lepeného spoje lepidla Betamate 1496V pro substrát HDG+NIT.



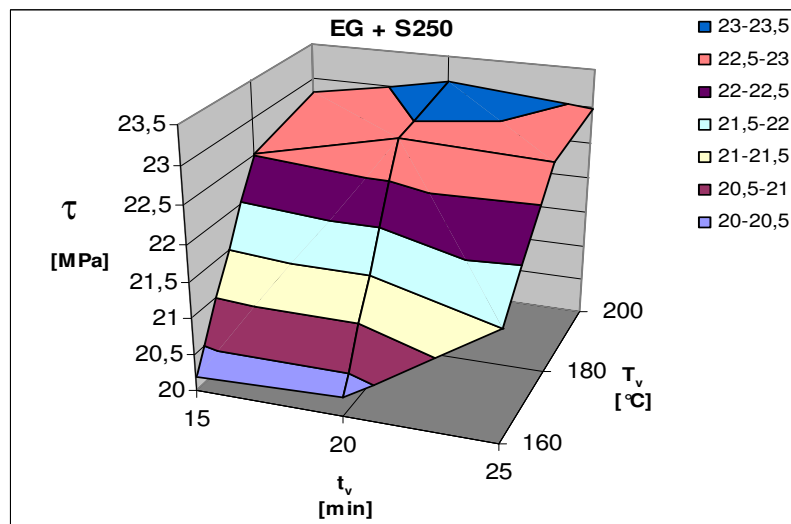
Graf 8.: Typ porušení lepeného spoje lepidla Betamate 1496V pro substrát EG+PH.

#### 4.5.2. Hodnocení lepidla SikaPower 490/7

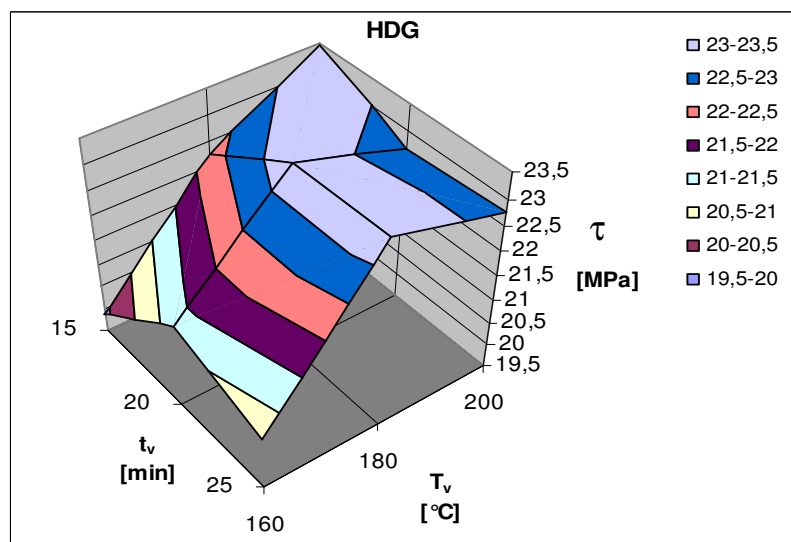
Z grafu 9., 10., 11. a 12. je patrné, že nejvyšších pevností se dosahovalo při teplotě 200 °C a doba vytvrzování byla pro substráty *EG+S250* a *HDG+NIT* 20 minut a pro substráty *HDG* a *EG+PH* to bylo 15 minut. Nejvyšší pevnosti při použití lepidla Sikapower 490/7 vykazoval substrát *HDG*.

Maximální pevnost byla u substrátu *HDG* hodnota 23,48 MPa při 200 °C a 15 min. vytvrzování. U *EG+S250* to byla hodnota 23,15 MPa při 200 °C a 15 min. vytvrzování. U *EG+PH* je to 22,09 MPa při 200 °C a 15 min. vytvrzování. Nejnižší maximální pevnost vykazoval substrát *HDG+NIT*, kde byla maximální pevnost 21,79 MPa při 200 °C a 20 min. vytvrzování.

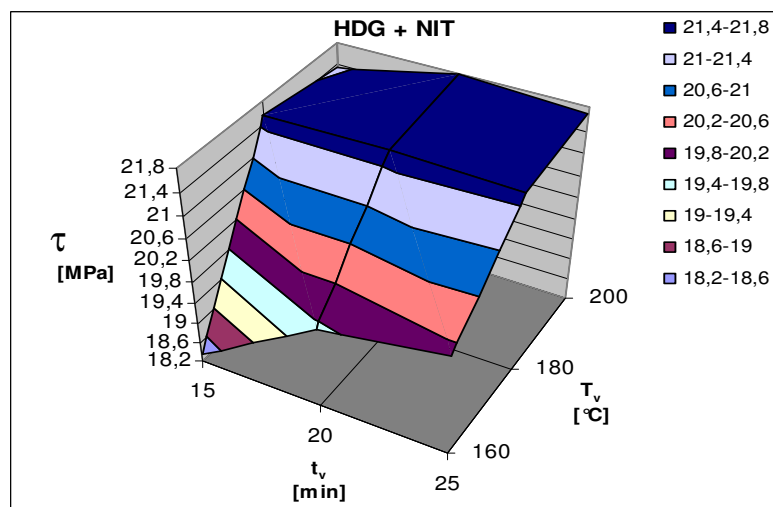
Z grafu 13., 14., 15. a 16. je patrné, že se na porušení po zkoušce pevnosti smykem podílí 100% speciální kohezní porušení. Pouze u substrátu *HDG+NIT* při teplotě 160 °C a době vytvrzování 15 minut se na porušení podílí 30% kohezního porušení a zbylé porušení je speciální kohezní porušení.



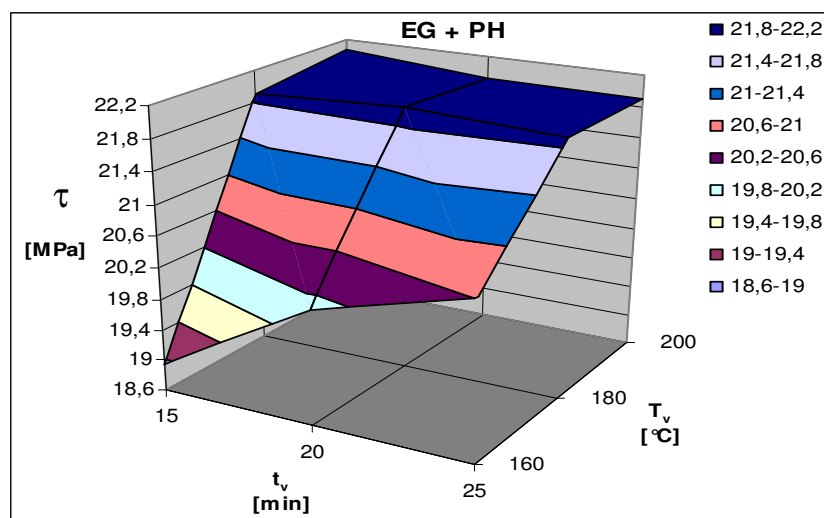
Graf 9.: Pevnost ve smyku lepidla SikaPower 490/7 pro substrát EG + S250.



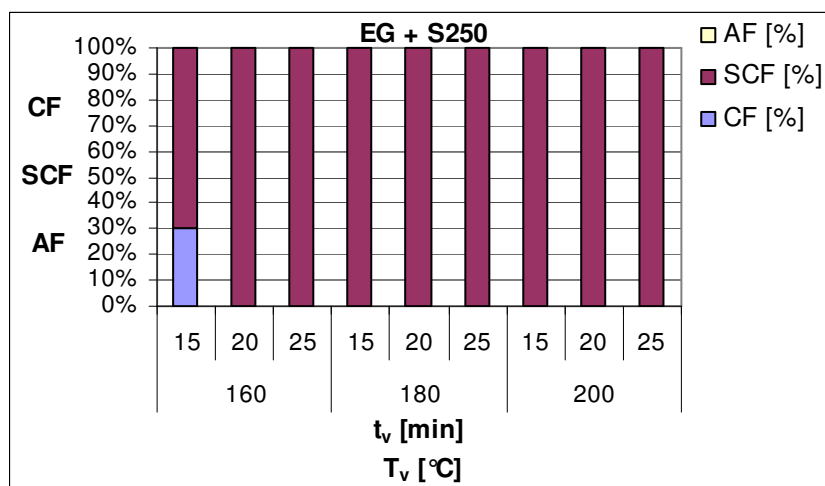
Graf 10.: Pevnost ve smyku lepidla SikaPower 490/7 pro substrát HDG.



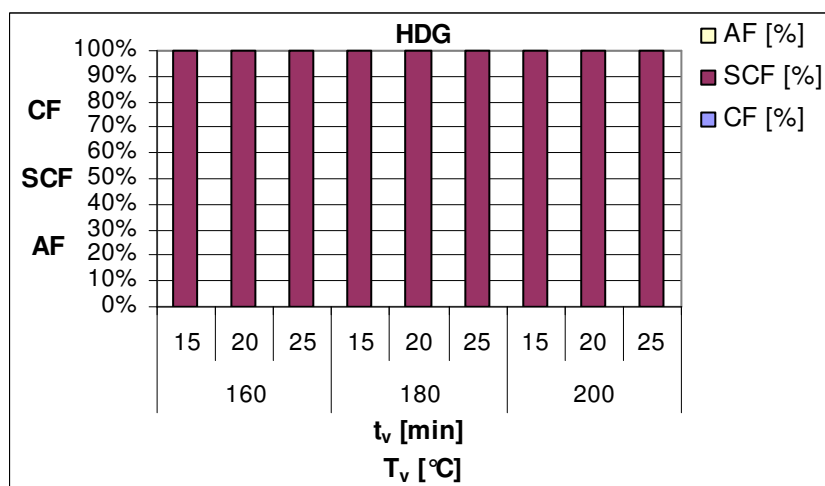
Graf 11.: Pevnost ve smyku lepidla SikaPower 490/7 pro substrát HDG + NIT.



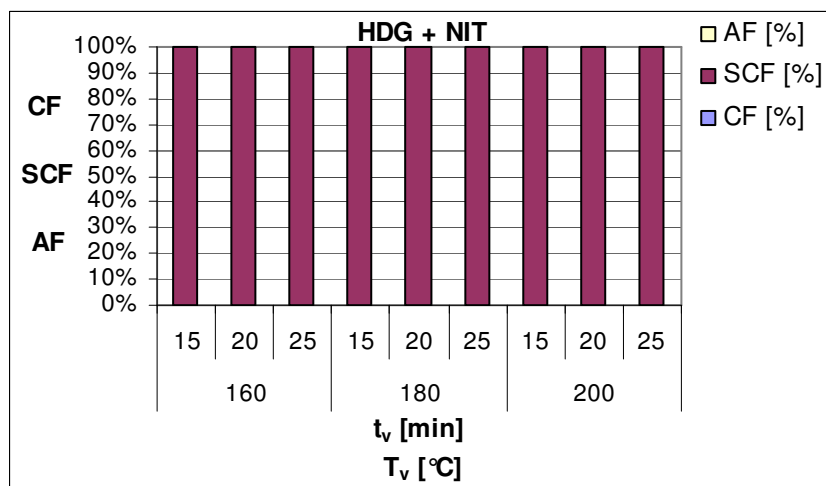
Graf 12.: Pevnost ve smyku lepidla SikaPower 490/7 pro substrát EG + PH.



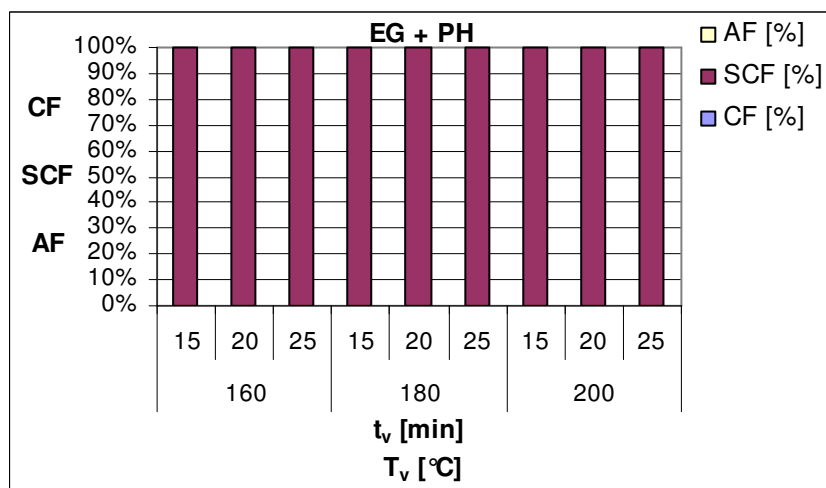
Graf 13.: Typ porušení lepeného spoje lepidla SikaPower 490/7 pro substrát EG+S250.



Graf 14.: Typ porušení lepeného spoje lepidla SikaPower 490/7 pro substrát HDG.



Graf 15.: Typ porušení lepeného spoje lepidla SikaPower 490/7 pro substrát HDG+NIT.



Graf 16.: Typ porušení lepeného spoje lepidla SikaPower 490/7 pro substrát EG+PH.

#### 4.5.3. Hodnocení lepidla Betaguard RB 10 BV SKODA

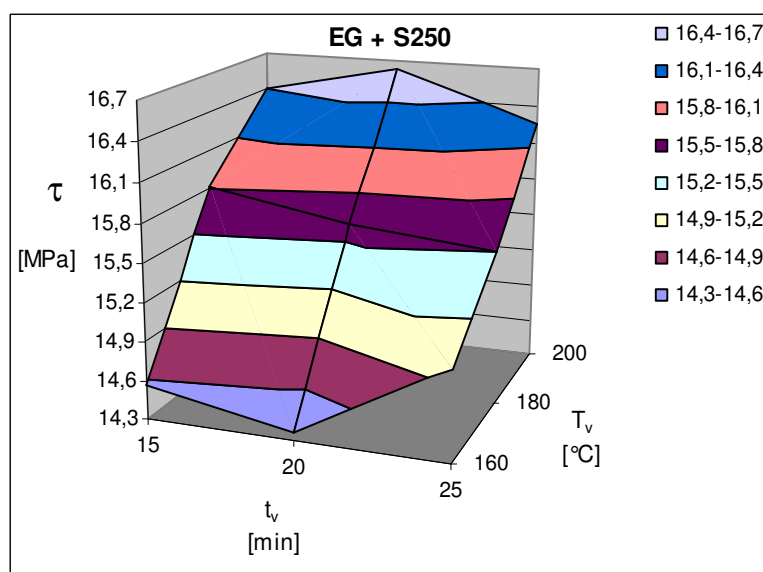
Z grafu 17. je patrné, že nejvyšší pevnosti se dosahovalo při teplotě 200.°C a době vytvrzování 20 minut. U grafu 18. a 19. bylo patrné, že nejvyšších pevností se dosahovalo při teplotě 180°C a doba vytvrzování byla pro substrát HDG 20 minut a pro substrát HDG+NIT byla tato doba 15 minut. U grafu 20. se nejvyšších pevností dosahovalo při teplotě 160°C a doba vytvrzování byla pro substrát EG+PH 25 minut. Nejvyšší pevnosti při použití lepidla Betaguard RB 10 BV vykazuje substrát EG+S250.

Maximální pevnost byla u substrátu EG+S250 hodnota 16,64 MPa při 200°C a 20 min. vytvrzování. U HDG to byla hodnota 15,22 MPa při 180°C

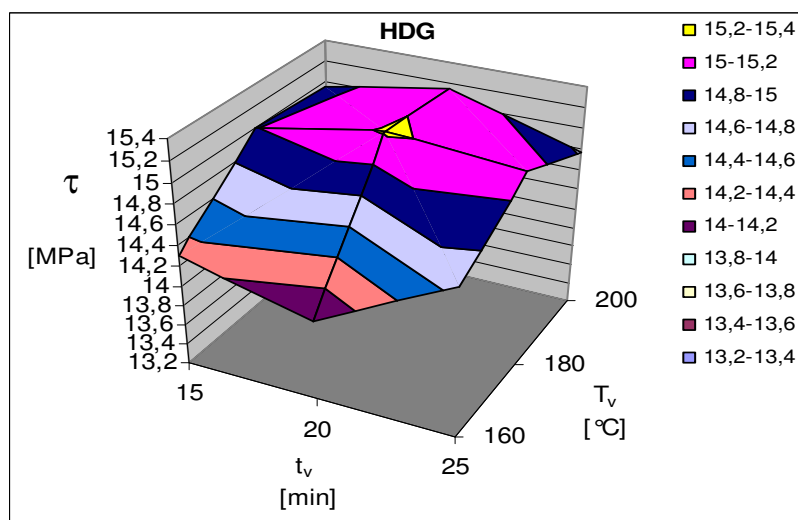


a 20 min. vytvrzování. U *EG+PH* je to hodnota 14,59 MPa při 160°C a 25 min. vytvrzování. A nejnižší maximální pevnost vykazoval substrát *HDG+NIT*, kde byla maximální pevnost 14,47 MPa při 180°C a 15 min. vytvrzování.

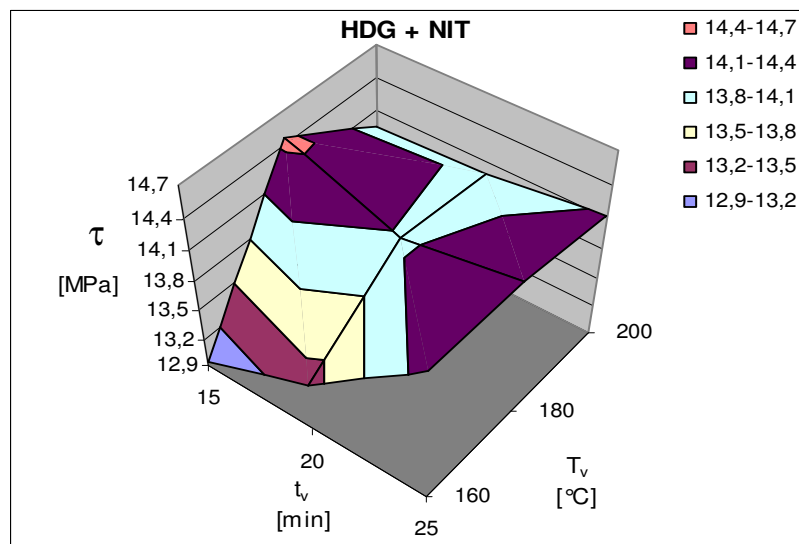
Z grafu 21. a 24. je patrné, že se na porušení u substrátu *EG+S250* a *EG+PH* podílelo 100% speciální kohezní porušení. Z grafu 22. a 23. je patrné, že u substrátu *HDG* a *HDG+NIT* se na porušení podílelo mimo speciálního kohezního porušení i adhezivní porušení. A to při teplotě 160°C 20 až 40% a při teplotě 180°C 0 až 15%.



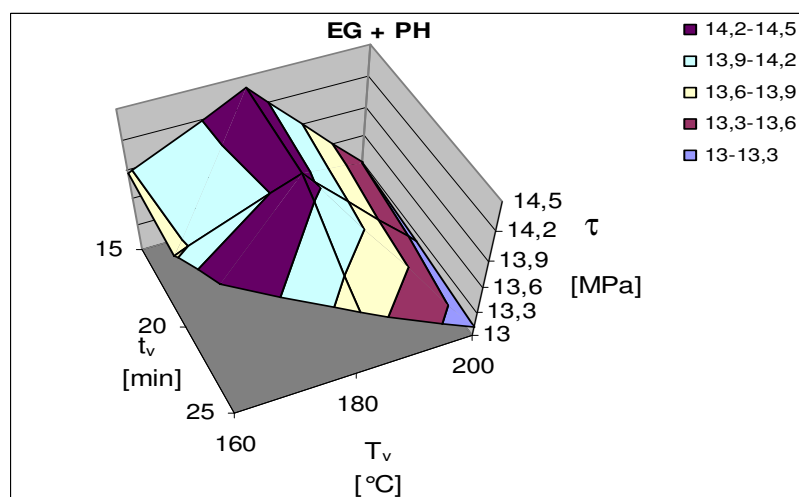
Graf 17.: Pevnost ve smyku lepidla Betaguard RB 10 BV SKODA pro substrát EG+S250.



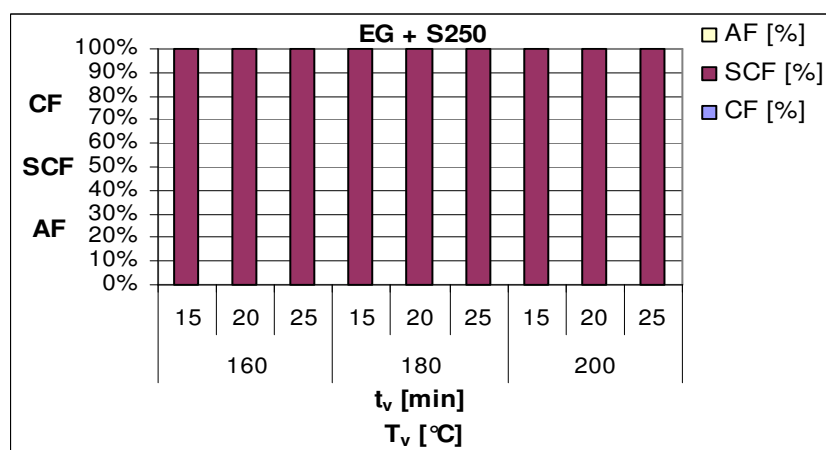
Graf 18.: Pevnost ve smyku lepidla Betaguard RB 10 BV SKODA pro substrát HDG



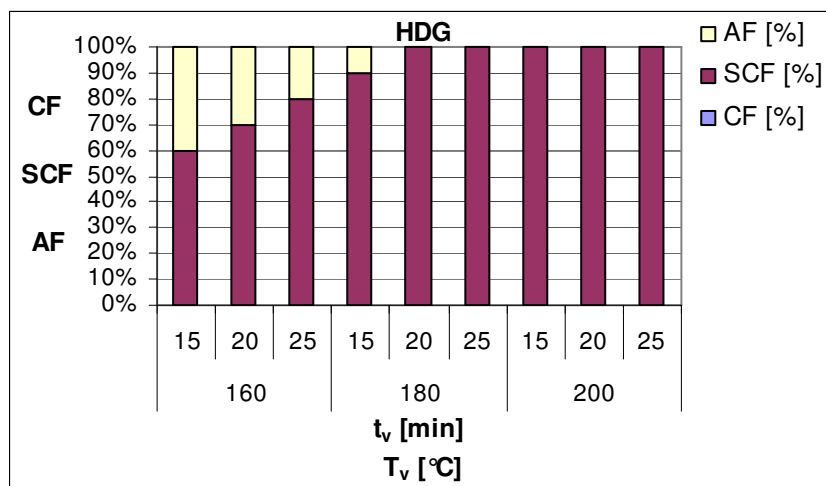
Graf 19.: Pevnost ve smyku lepidla Betaguard RB 10 BV SKODA pro substrát HDG+NIT.



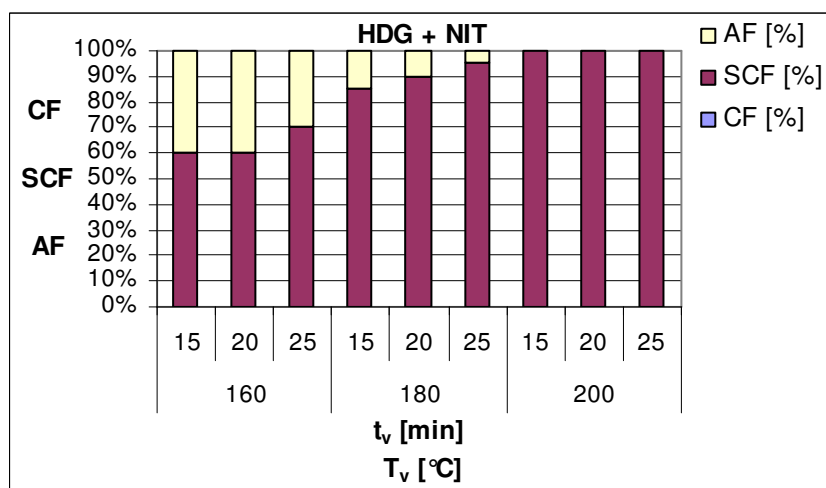
Graf 20.: Pevnost ve smyku lepidla Betaguard RB 10 BV SKODA pro substrát EG+PH.



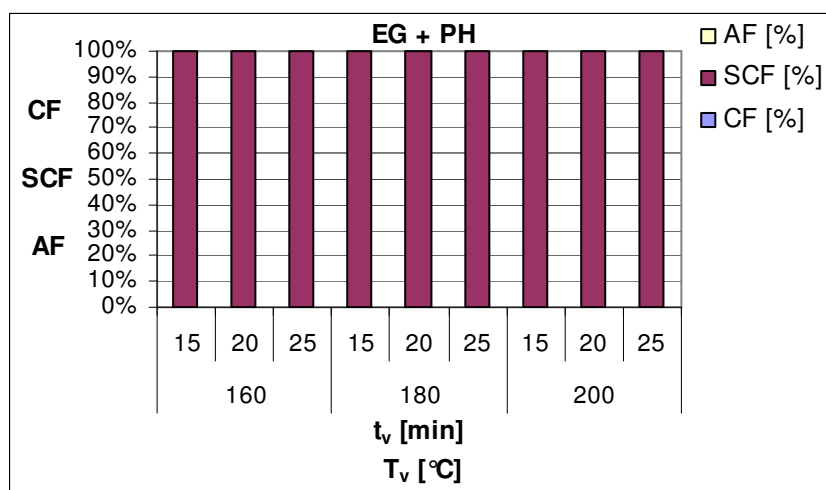
Graf 21.: Typ porušení lepeného spoje lepidla Betaguard RB 10 BV SKODA pro substrát EG+S250.



Graf 22.: Typ porušení lepeného spoje lepidla Betaguard RB 10 BV SKODA pro substrát HDG.



Graf 23.: Typ porušení lepeného spoje lepidla Betaguard RB 10 BV SKODA pro substrát HDG+NIT.



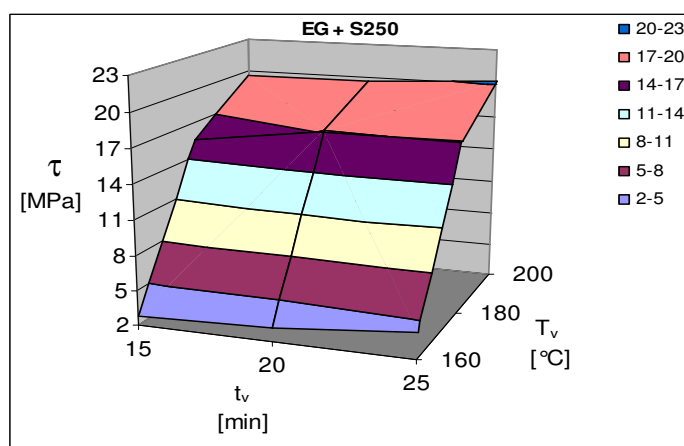
Graf 24.: Typ porušení lepeného spoje lepidla Betaguard RB 10 BV SKODA pro substrát EG+PH.

#### 4.5.4. Hodnocení lepidla Terostat 5196 VW-25

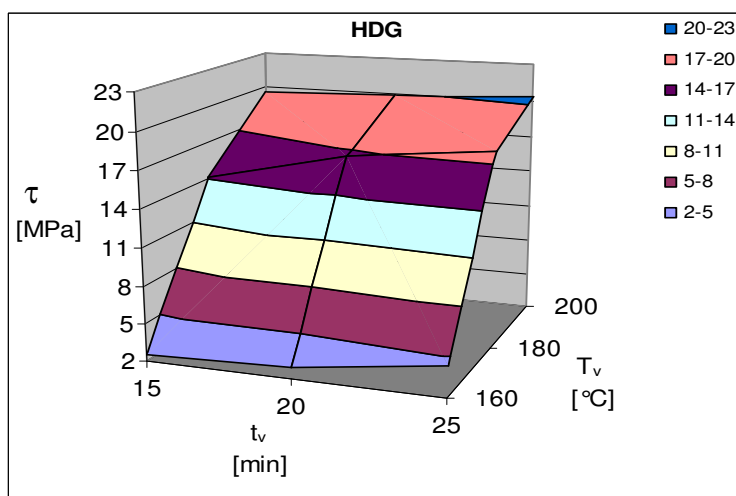
Z grafu 25., 26., 27. a 28. je patrné, že nejvyšších pevností se dosahovalo při teplotě 200 °C a době vytvrzování 25 minut. Až do dosažení této teploty a doby vytvrzování pevnost rostla. Nejvyšší pevnosti při použití lepidla *Terostat 5196 VW-25* vykazoval substrát *HDG*.

Maximální pevnost byla u substrátu *HDG* hodnota 20,35 MPa při 200 °C a 25 min. vytvrzování. U *EG+S250* to byla hodnota 20,18 MPa. *HDG+NIT* je to 18,25 MPa. A nejnižší maximální pevnost vykazoval substrát *EG+PH*, kde byla maximální pevnost 17,24 MPa.

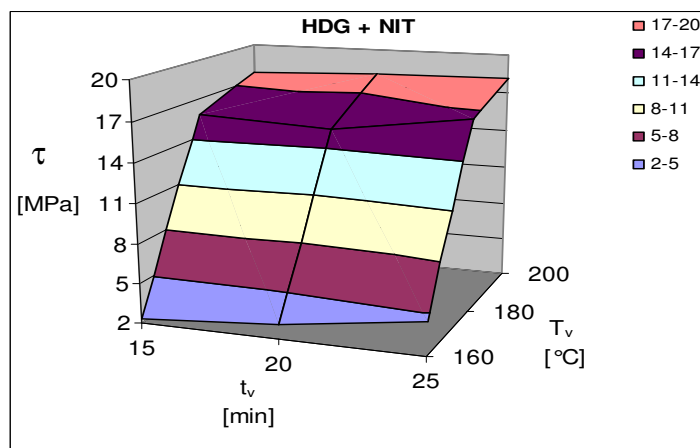
Z grafu 28., 29., 30. a 31. je patrné, že se na porušení po zkoušce pevnosti smykem při teplotách 160 °C podílí 30% speciální kohezní porušení a 70% speciální porušení. Při teplotách 180 a 200 °C se na porušení podílí 20% speciální kohezní porušení a 80% kohezní porušení.



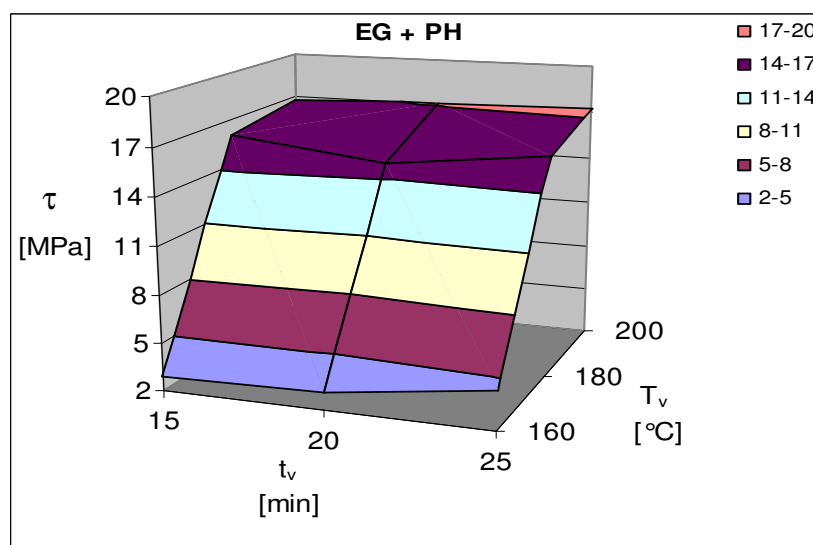
Graf 25.: Pevnost ve smyku lepidla Terostat 5196 VW-25 pro substrát EG+S250.



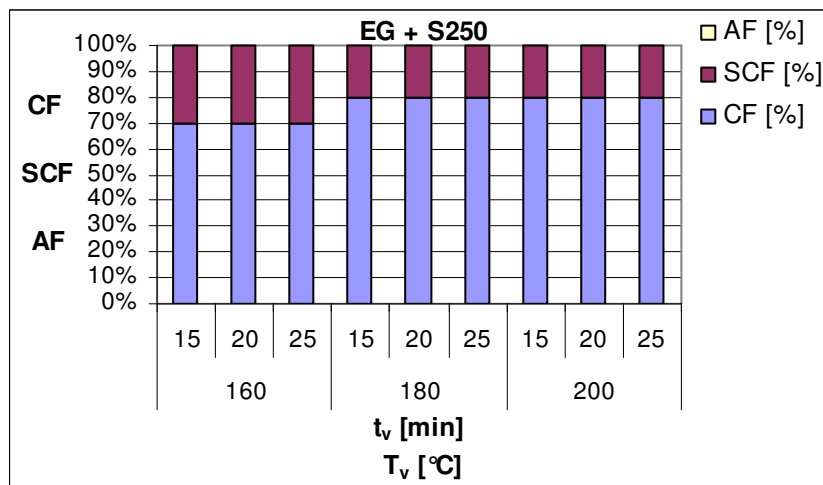
Graf 26.: Pevnost ve smyku lepidla Terostat 5196 VW-25 pro substrát HDG.



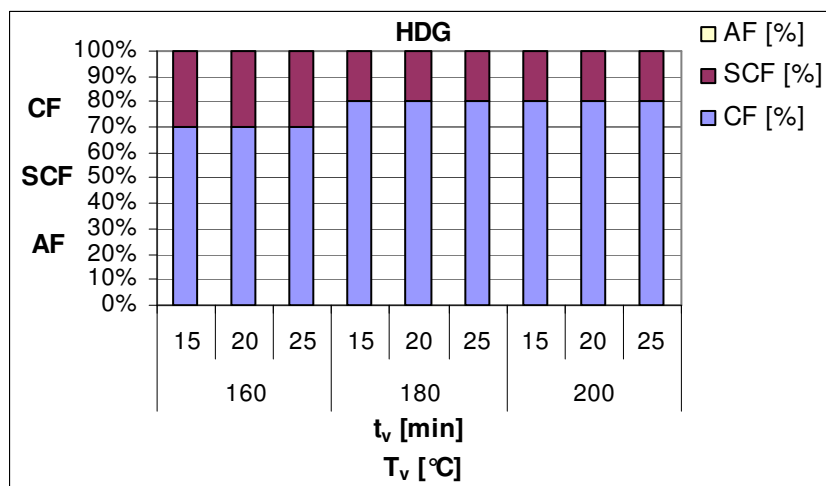
Graf 27.: Pevnost ve smyku lepidla Terostat 5196 VW-25 pro substrát HDG+NIT.



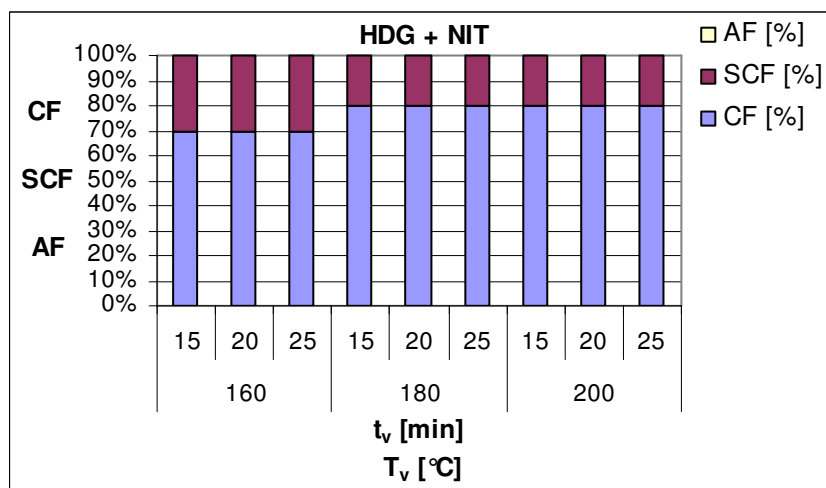
Graf 28.: Pevnost ve smyku lepidla Terostat 5196 VW-25 pro substrát EG+PH.



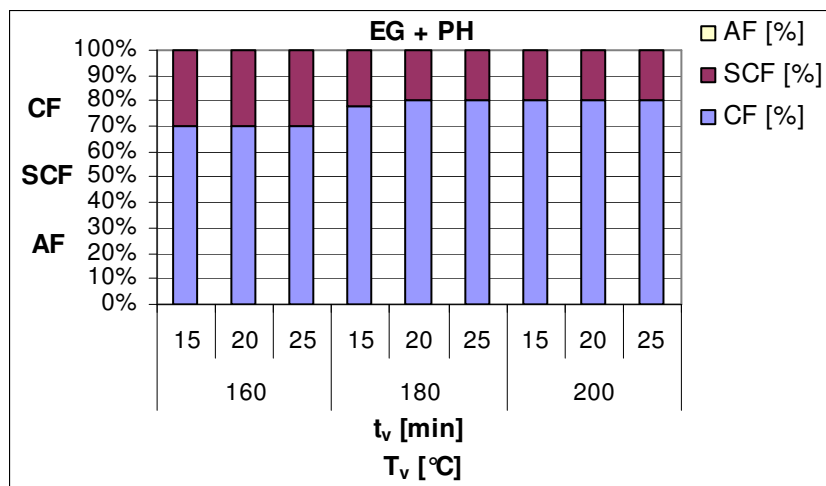
Graf 29.: Typ porušení lepeného spoje lepidla Terostat 5196 VW-25 pro substrát EG+S250.



Graf 30.: Typ porušení lepeného spoje lepidla Terostat 5196 VW-25 pro substrát HDG.



Graf 31.: Typ porušení lepeného spoje lepidla Terostat 5196 VW-25 pro substrát HDG+NIT.

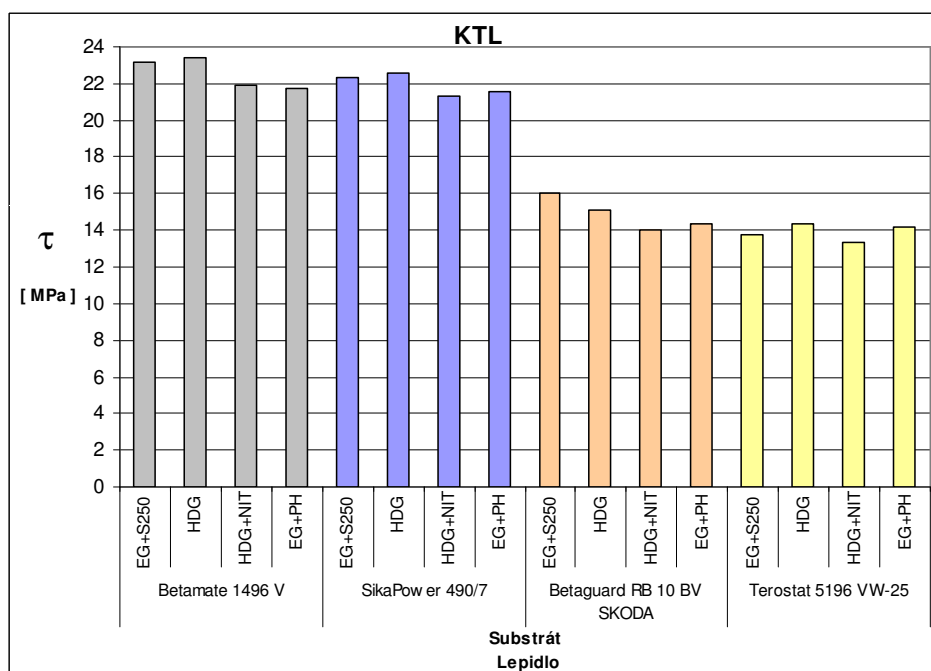


Graf 32. Typ porušení lepeného spoje lepidla Terostat 5196 VW-25 pro substrát EG+PH.

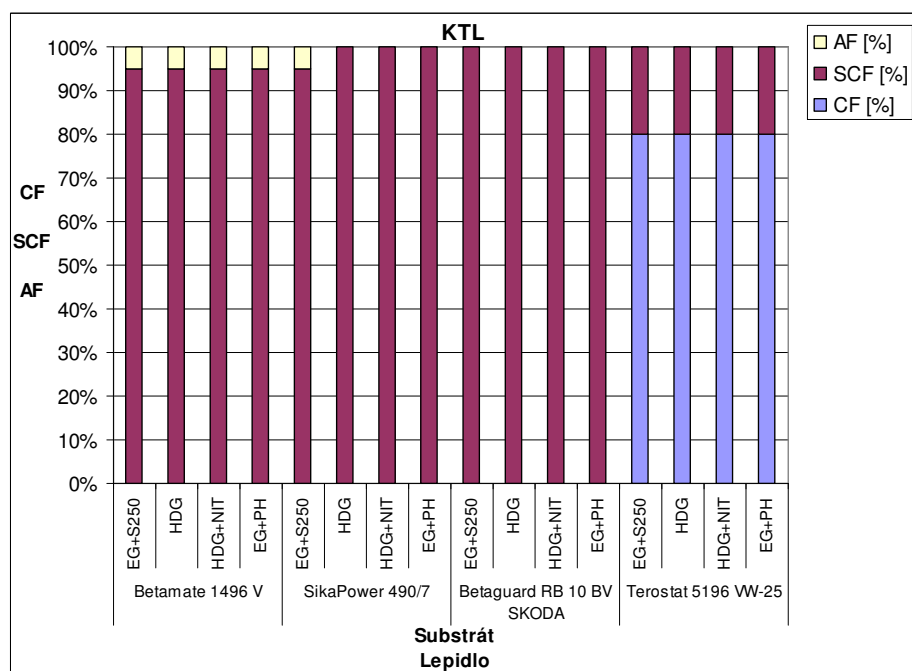
#### 4.5.5. Hodnocení po KTL

Z grafu 33. je patrné, že maximální pevnosti pro lepidlo *Betamate 1496V* se dosáhlo na substrátu *HDG* a nejmenší pevnosti na substrátu *EG+PH*. Pro lepidlo *SikaPower 490/7* bylo dosaženo maximální pevnosti na substrátu *HDG* a minimální pevnosti na substrátu *HDG+NIT*. U lepidla *Betaguard RB 10 BV SKODA* bylo dosaženo maximální pevnosti na substrátu *EG+S250* a minimální pevnosti na substrátu *HDG+NIT*. A u lepidla *Terostat 5196 VW-25* se maximální pevnosti dosáhlo na substrátu *HDG* a minimální pevnosti na substrátu *HDG+NIT*.

Z grafu 34. je patrné, že se na porušení po zkoušce pevnosti smykem se u lepidla *Betamate 1496V* podílelo 5% adhezivní porušení a zbylé porušení bylo speciální kohezní porušení. U lepidla se *SikaPower 490/7* se na porušení podílelo u substrátů *HDG*, *HDG+NIT* a *EG+PH* 100% speciální kohezní porušení a substrátu *EG+S250* se na porušení podílelo 5% adhezivní porušení a zbylé porušení bylo speciální kohezní porušení. U lepidla *Betaguard RB 10 BV SKODA* se na porušení podílelo 100% speciální kohezní porušení. A u lepidla *Terostat 5196 VW-25* se na porušení podílelo 20% speciální kohezní porušení a zbylé porušení bylo kohezní porušení.



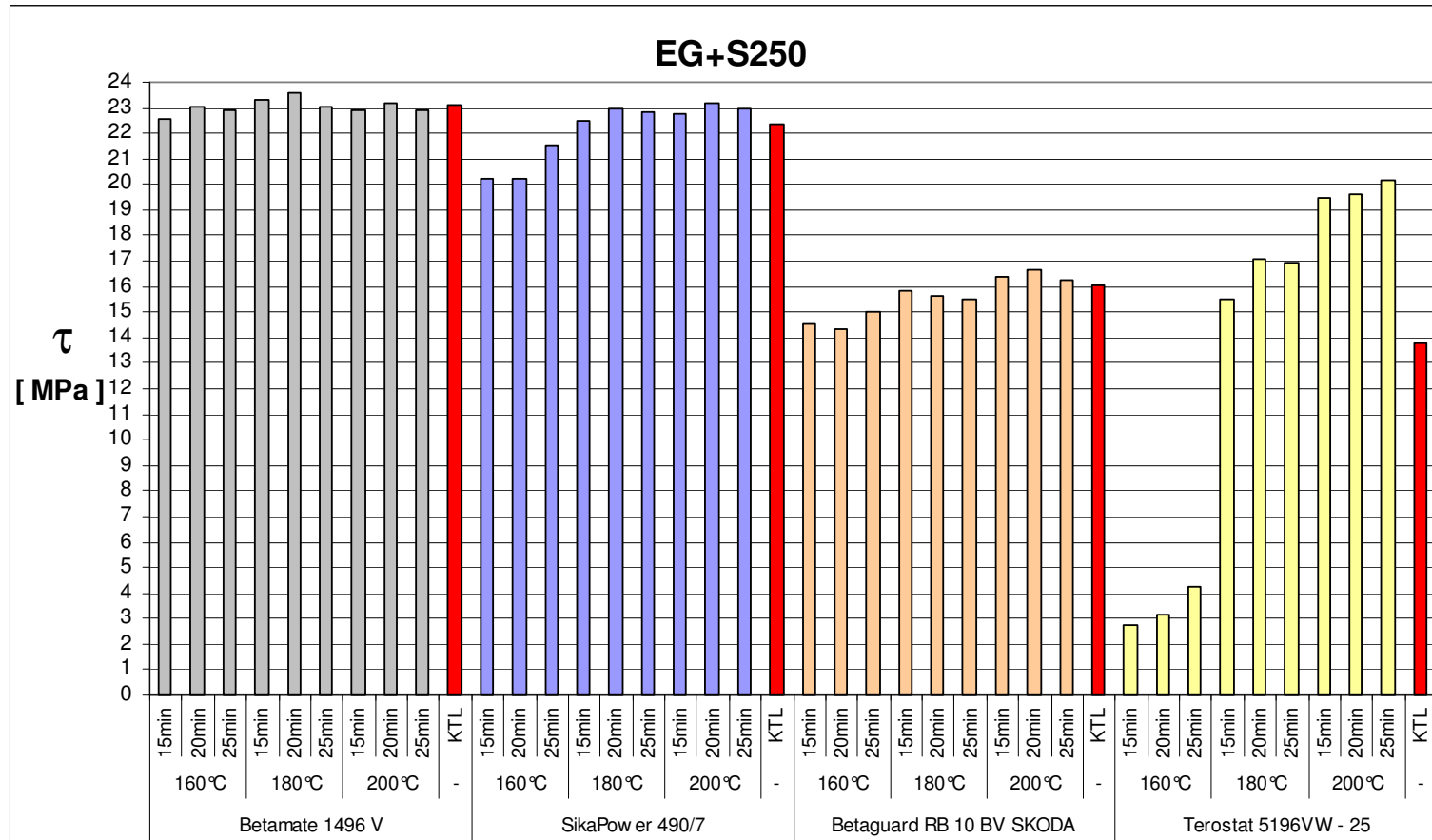
Graf 33.: Pevnost ve smyku pro KTL (katodforezní lakovací linka).



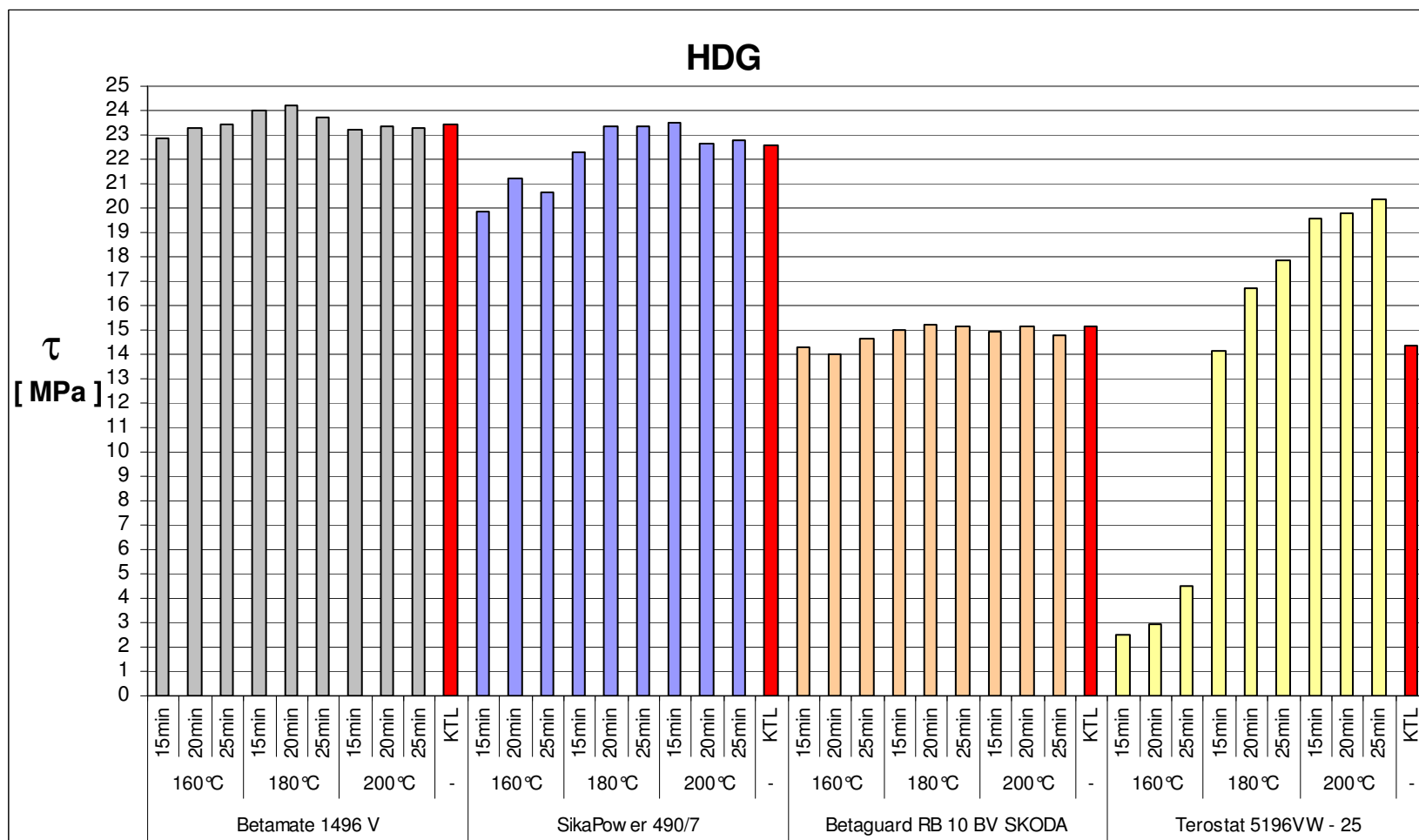
Graf 34.: Typ porušení lepeného spoje pro KTL (katodforezní lakovací linka)



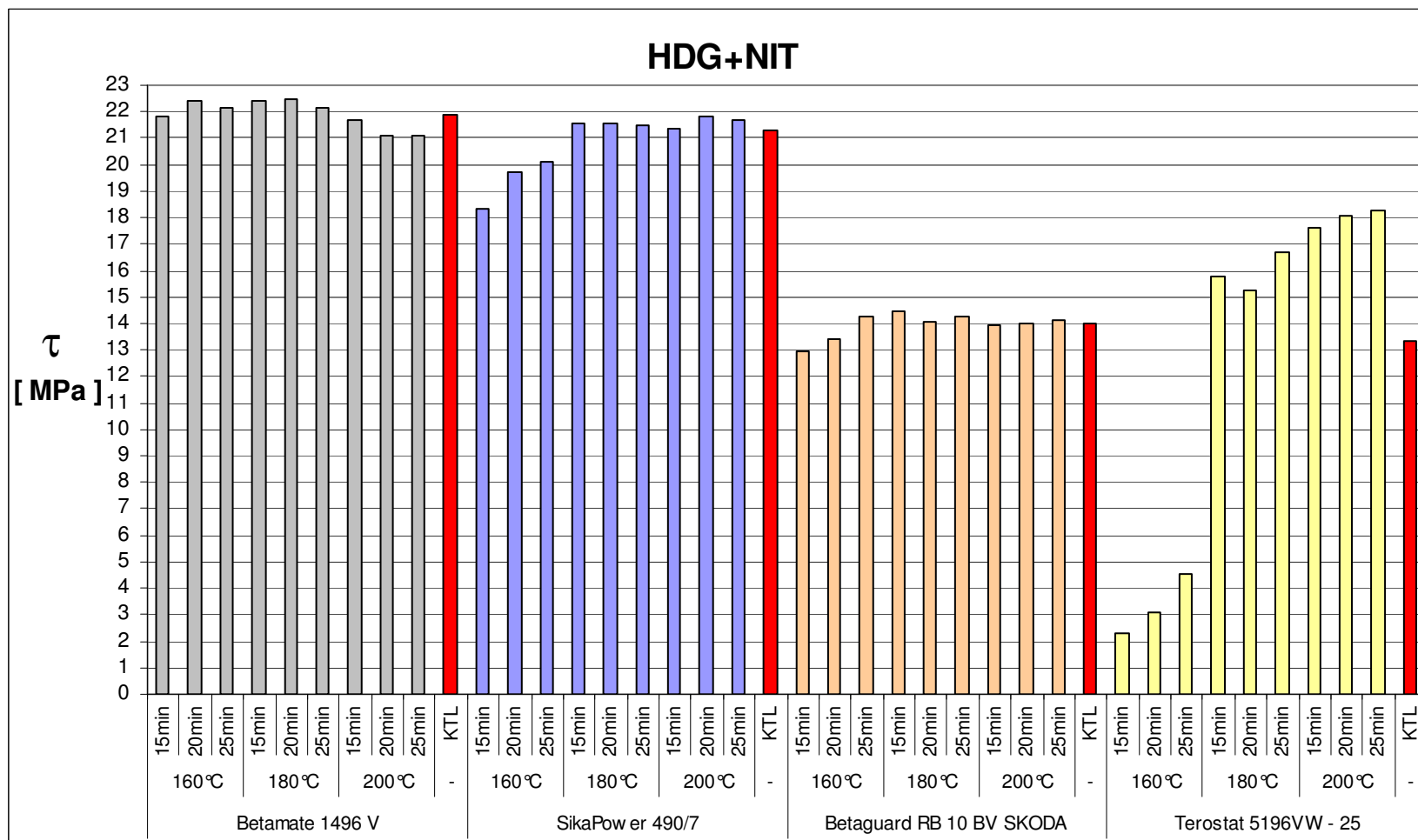
#### 4.6. Srovnání pevnosti pro jednotlivé substráty



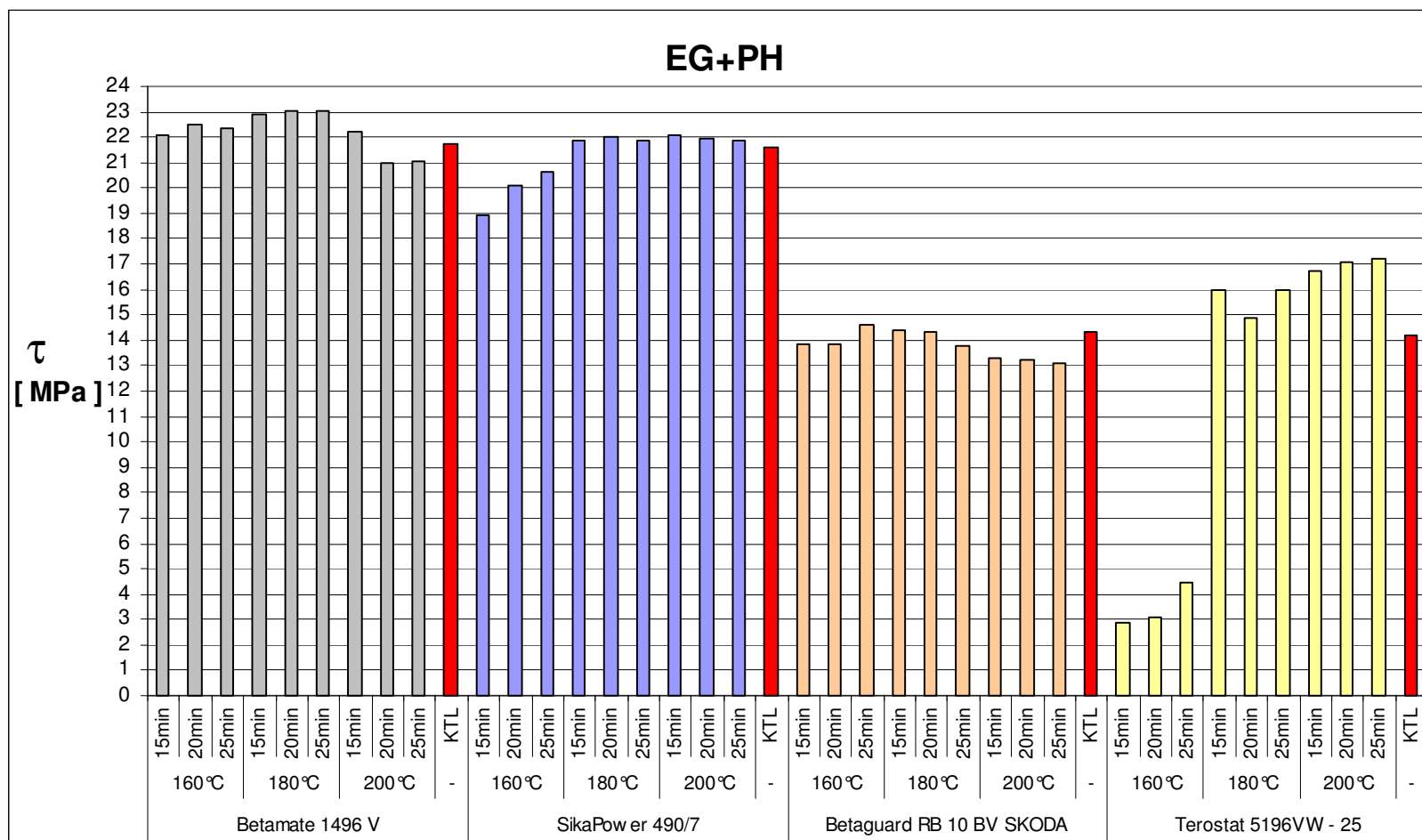
Graf 35.: Pevnost pro substrát EG+S250



Graf 36.: Pevnost pro substrát HDG

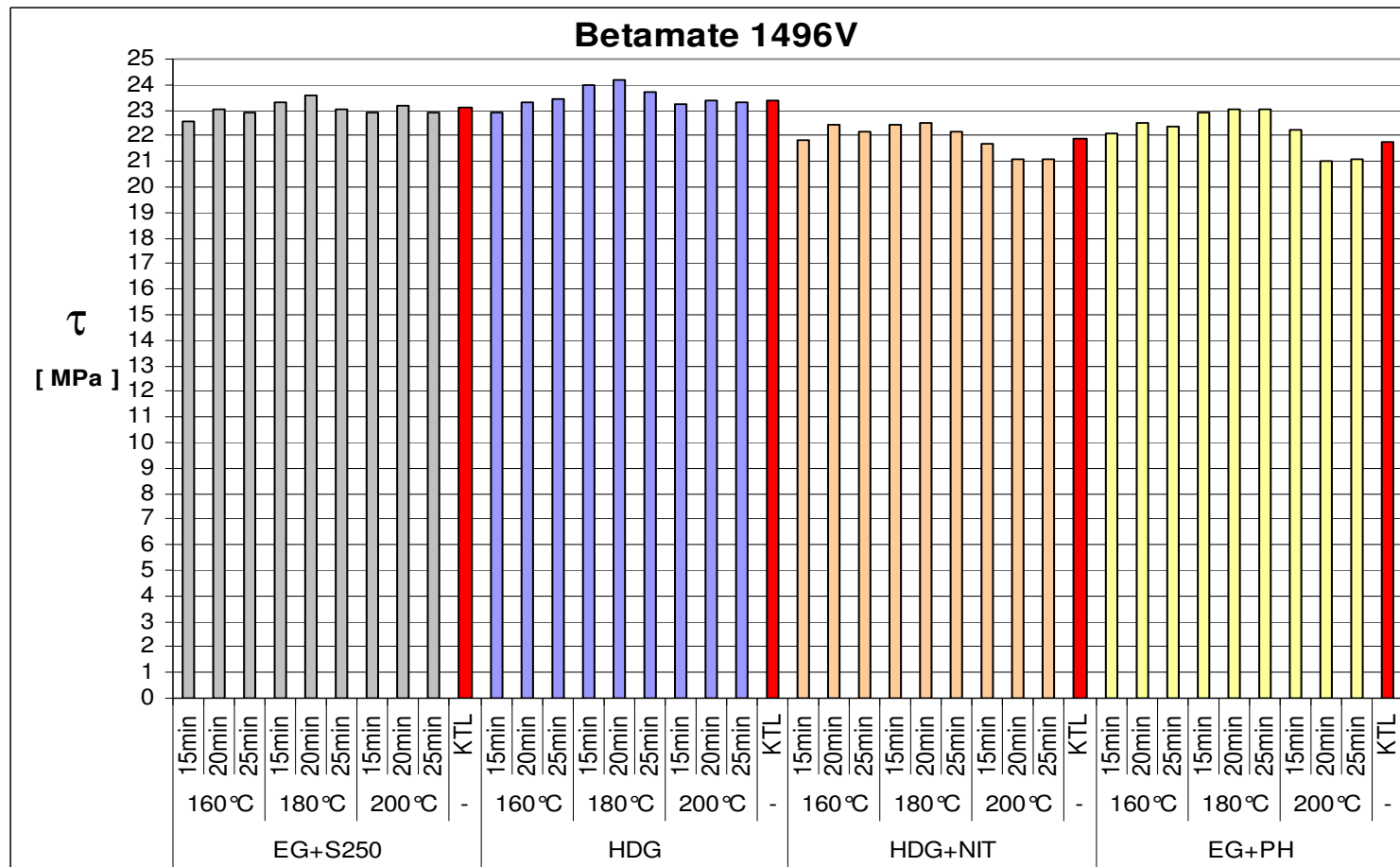


Graf 37.: Pevnost pro substrát HDG+NIT

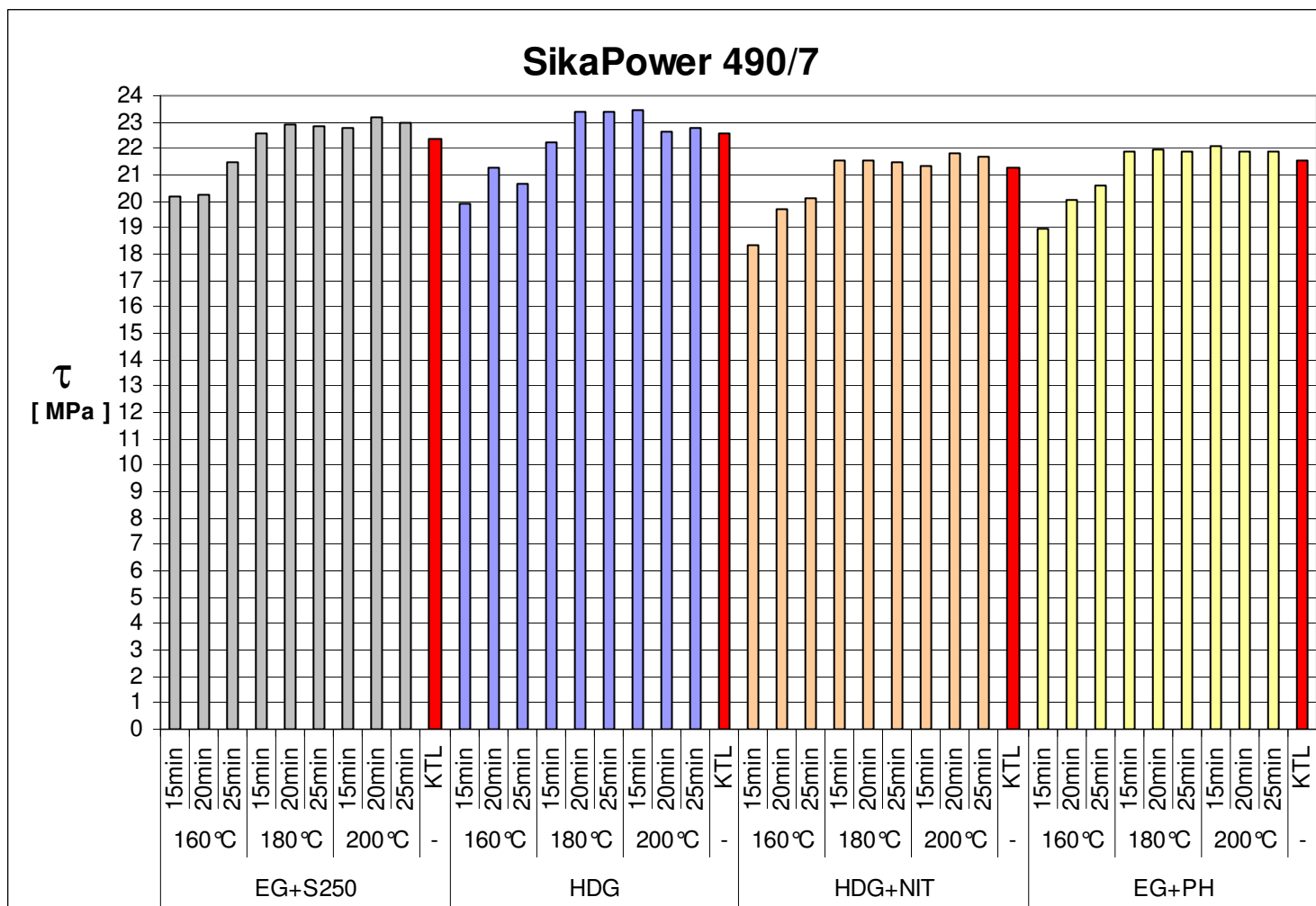


Graf 38.: Pevnost pro substrát EG+PH

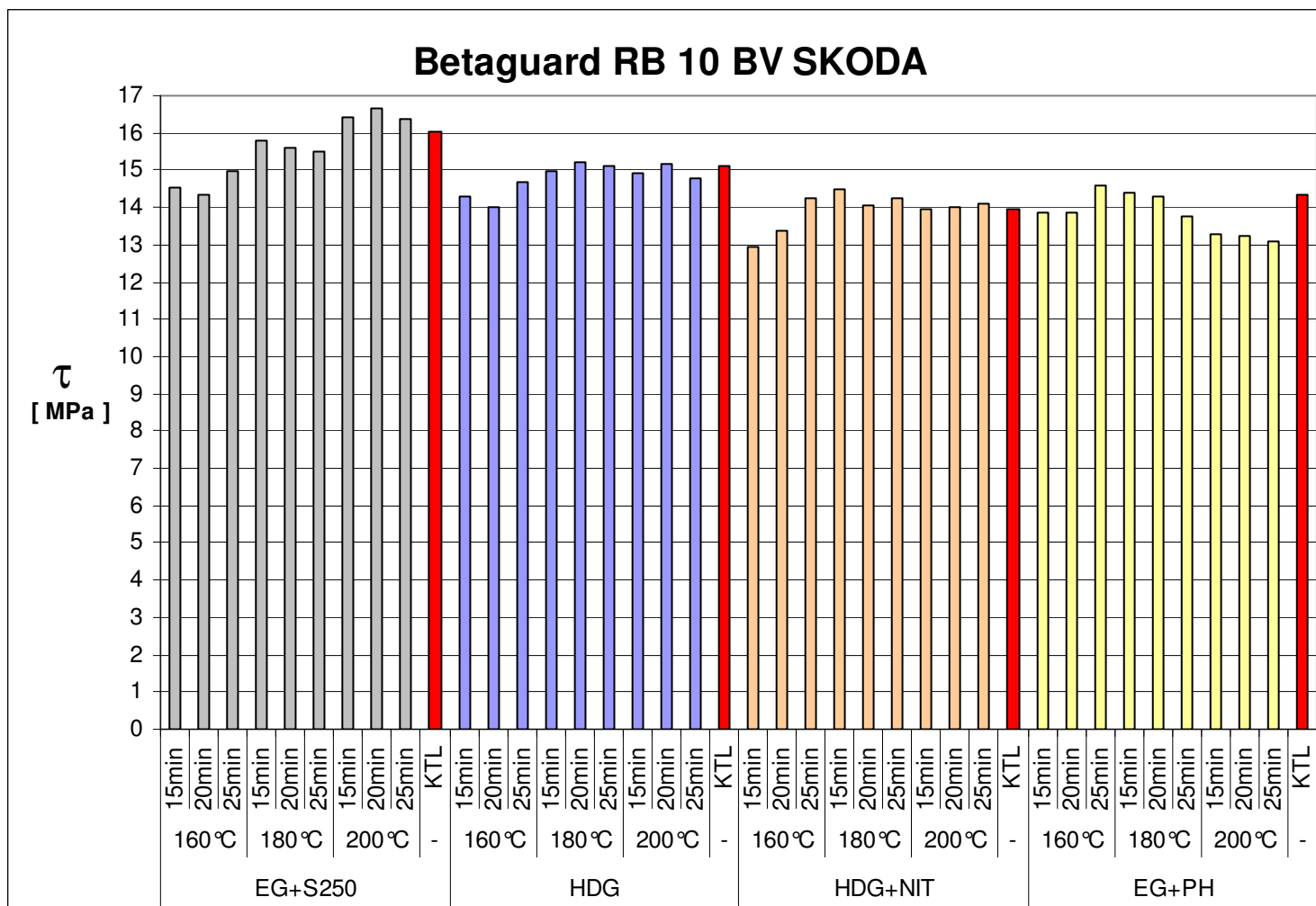
#### 4.7. Porovnání pevnosti pro jednotlivá lepidla



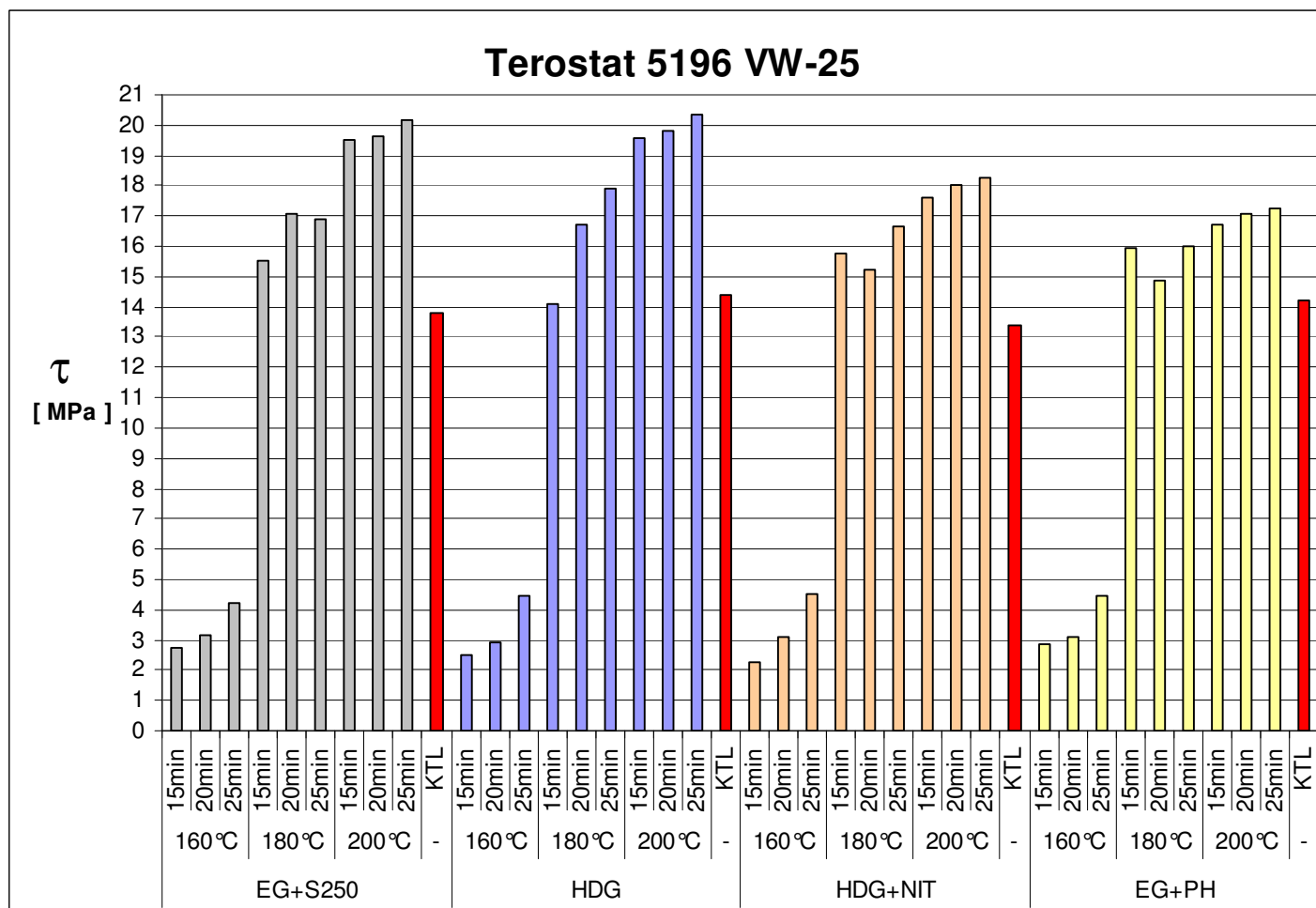
Graf 39.: Pevnost pro lepidlo Betamate1496V



Graf 40.: Pevnost pro lepidlo Sikapower 490/7



Graf 41.: Pevnost pro lepidlo Betaguard RB 10 BV ŠKODA



Graf 42. Pevnost pro lepidlo Terostat 5196 VW-25



## 5. Diskuze výsledků

Cílem diplomové práce byl určit vliv parametrů vytvrzování na pevnost lepeného spoje při lepení karosářských plechů a vyhodnocení jednotlivých typů porušení lepených spojů. Tomuto faktu byla přizpůsobena experimentální část, kdy se zjišťovala pevnost lepeného spoje pro tři teploty vytvrzování (160, 180 a 200 °C) a tři doby vytvrzování (15, 20 a 25 minut). Toto vytvrzení proběhlo v laboratoři TU v Liberci.

Dále byla část vzorků vytvrzena v KTL (katodforezní lakovací linka) ve Škodě Mladá Boleslav za podmínek běžného provozu a bylo provedeno porovnání výsledků pevnosti lepeného spoje u vzorků vytvrzených v laboratoři TU v Liberci s pevností vzorků vytvrzených v KTL.

Pro účely experimentu byly vybrány čtyři substráty, které se používají v automobilovém průmyslu na stavbu karoserií automobilů. Šlo o ocelové pozinkované plechy a z toho byly 3 substráty navíc ještě fosfátované. K posouzení pevnosti lepeného spoje bylo použito zkoušky ke stanovení smykové pevnosti při zatěžování v tahu dle normy PV 12.05. Určení porušení lepeného spoje proběhlo vizuálním zkoumáním dle normy ČSN ISO 10365.

Pro vyhodnocení výsledků experimentu byl vybrán způsob, kdy se na jednotlivých substrátech hodnotila pevnost jednotlivých lepidel. V tomto případě odpadl vliv tloušťky substrátu, rozdílných mechanických vlastností substrátu, různé drsnosti, morfologie povrchu atd.

Pro vyhodnocení rozdílu mezi max. a min.pevnosti pro jednotlivé teploty a doby vytvrzování byly zpracovány tabulky, které se nacházejí v příloze 7. a 8..

### **Hodnocení lepidel:**

*Betaguard RB 10 BV SKODA* a *Terostat 5196VW-25* jsou lepidla na bázi kaučuku, *Betamate 1496 V* a *SikaPower 490/7* jsou lepidla na epoxidové bázi. Porovnáním maximálních pevností dosahovala epoxidová lepidla lepších výsledků, což je dané pevností samotného lepidla.

### **Lepidlo Betamate 1496 V**

Toto lepidlo vykazovalo u jednotlivých substrátů nejvyšší pevnost. U tohoto lepidla až do teploty vytvrzování 180 °C po dobu 20 minut vždy pevnost narůstala, poté klesala. Lepidlo při teplotách 160 °C a 180 °C vykazovalo 5 až 10% podíl adhezivního porušení a zbylé porušení bylo speciální kohezní. Největší pevnost vykazovalo na substrátu *HDG* a nejmenší pevnost vykazovalo na substrátu *HDG+NIT*.

#### a) Teplota vytvrzování

Mezi teplotami 160 až 200 °C byl nejvyšší rozdíl mezi maximální a minimální pevností naměřen u substrátu *EG+PH* a činil 9,02% (2,08 MPa). Minimální rozdíl byl u substrátu *EG+S250* a činil 4,16% (0,98 MPa). Můžeme tedy konstatovat, že vliv teploty vytvrzování má na výslednou pevnost spoje poměrně malý vliv.

#### b) Doba vytvrzování

U tohoto lepidla můžeme konstatovat, že rozdíl mezi maximální a minimální pevností pro jednotlivé teploty vytvrzování je zanedbatelný. Pohyboval se v rozmezí od 0,69 do 5,50% (0,16 až 1,22 MPa).

Pro toto lepidlo vyplývá, že optimální teplota vytvrzování je 180 °C po dobu 20 minut.

### **Lepidlo SikaPower 490/7**

Toto lepidlo bylo pevnostně srovnatelné s lepidlem *Betamate 1496 V*. Lepidlo dosahovalo svých maximálních hodnot při teplotách vytvrzování 200 °C. Až na jednu výjimku (při teplotě vytvrzování 160 °C a době vytvrzování 15 minut pro substrát *EG+S250*, kdy se na porušení lepeného spoje podílelo 30% kohezního porušení) se na porušení podílelo 100% speciální kohezní porušení. Největší pevnost vykazovalo toto lepidlo na substrátu *HDG* a nejmenší vykazoval na substrátu *HDG+NIT*.

#### a) Teplota vytvrzování

Mezi teplotami 160 až 200 °C byl nejvyšší rozdíl mezi maximální a minimální pevností naměřen u substrátu *HDG+NIT* a činil 15,79% (3,44 MPa). Minimální rozdíl byl u substrátu *EG+S250* a činil

12,74% (0,98 MPa). Můžeme tedy konstatovat, že vliv teploty vytvrzování má na výslednou pevnost spoje již významný vliv.

b) Doba vytvrzování

U teploty 160 °C je pro jednotlivé doby vytvrzování největší rozdíl mezi maximální a minimální pevností pro všechny substráty. Pohyboval se v rozmezí od 6,09 do 8,66% (1,31 až 1,74 MPa). Pro ostatní teploty je rozdíl v pevnosti pro jednotlivé doby vytvrzování zanedbatelný.

U lepidla *SikaPower 490/7* bylo maximální pevnosti dosaženo při teplotě 200 °C. Ale pevnosti dosažené při teplotě 180 °C a době vytvrzování 20 minut se od maximálních hodnot liší pouze v desetinách MPa. Můžeme tedy podmínky vytvrzování teplotu 180 °C a dobu vytvrzování 20 minut pokládat za optimální.

***Lepidlo Terostat 5196VW-25***

Toto lepidlo bylo při 160 °C ještě nevytvrzené a vykazovalo velmi malou pevnost. Pevnost lepidla s rostoucí teplotou a dobou vytvrzování neustále roste. Svě maximální hodnoty dosahovalo při 200 °C a době vytvrzování 25 minut. Při daných teplotách vykazovalo 70 až 80% podíl kohezního porušení a zbytkové porušení bylo speciální kohezní. Největší pevnost vykazovalo na substrátu *HDG* a nejmenší na substrátu *EG+PH*.

a) Teplota vytvrzování

Mezi teplotami 160 až 200 °C byl nejvyšší rozdíl mezi maximální a minimální pevností naměřen u substrátu *HDG* a činil 87,86% (17,88 MPa). Minimální rozdíl byl u substrátu *EG+PH* a činil 83,47% (14,39 MPa). U tohoto lepidla můžeme konstatovat značný vliv teploty vytvrzování na konečnou pevnost spoje.

b) Doba vytvrzování

U tohoto lepidla můžeme konstatovat, že rozdíl mezi maximální a minimální pevností pro jednotlivé teploty vytvrzování je značný. Největší nárůst byl vykazován při teplotě 160 °C, kdy byl nejvyšší rozdíl mezi maximální a minimální pevností naměřen u substrátu *HDG+NIT* a činil 48,76% (2,17 MPa). Minimální rozdíl byl u substrátu *EG+S250* a činil 36,08%

(1,53 MPa). S rostoucí teplotou byl rozdíl mezi maximální a minimální pevností menší.

U lepidla *Terostat 5196VW-25* byly maximální hodnoty pevnosti dosaženy až při teplotě 200 °C a době vytvrzování 25 minut. Pro toto lepidlo je tedy z hlediska pevnosti optimální teplota vytvrzování 200 °C a doba vytvrzování 25 minut.

### ***Betaguard RB 10 BV SKODA***

Jako nejméně pevné bylo vyhodnoceno lepidlo *Betaguard RB 10 BV SKODA*. Kdy kromě substrátu *EG+S250*, na kterém dosahovalo svých maximálních hodnot pevnosti při 200 °C, na ostatních substrátech dosahovaly pevnosti svých maximálních hodnot při 180 °C. Toto lepidlo pro substráty *HDG* a *HDG+NIT* při teplotách 160 °C vykazovalo cca. 30% podíl adhezivního porušení, zbylé porušení bylo speciální kohezní. Podíl adhezivního porušení klesal s rostoucí teplotou a dobou vytvrzování na nulovou hodnotu. Největší pevnost vykazovalo toto lepidlo u substrátu *HDG* a nejmenší na substrátu *EG+PH*.

#### **a) Teplota vytvrzování**

Mezi teplotami 160 až 200 °C byl nejvyšší rozdíl mezi maximální a minimální pevností naměřen u substrátu *EG+S250* a činil 13,70% (2,28 MPa). Minimální rozdíl byl u substrátu *HDG* a činil 8,06% (1,22 MPa). U tohoto lepidla můžeme konstatovat, že vliv teploty vytvrzování má na výslednou pevnost spoje vliv.

#### **b) Doba vytvrzování**

U teploty 160 °C je pro všechny substráty největší rozdíl mezi maximální a minimální pevností a pohyboval se v rozmezí od 4,20 až 9,06% (0,63 až 1,29 MPa). Pro ostatní teploty je rozdíl v pevnosti nevýznamný.

U lepidla *Betaguard RB 10 BV SKODA* byly maximální pevnosti dosaženy při teplotě 180 °C a době vytvrzování buď 15 nebo 20 minut až na substrát *EG+S250*, kde byla maximální pevnost naměřena při 200 °C a době vytvrzování 20 minut. Pevnosti dosažené při teplotě 180 °C a době vytvrzování 20 minut se od maximálních hodnot liší pouze v desetinách MPa.

Můžeme tedy podmínky vytvrzování teplotu 180°C a dobu vytvrzování 20 minut brát jako optimální.

## **6. Závěr**

Na základě výsledků této diplomové práce lze tvrdit, že parametry 180 °C a 20 minut jsou vhodné pro laboratorní simulování zkušebních vzorků, které mají simulovat vytvrzování při průchodu linkou KTL v běžném provozu Škoda Auto Mladá Boleslav. Ve většině případů se dosahovalo při teplotě 180 °C a době vytvrzování 20 minut velmi podobných pevností jako u vzorků, které prošli linkou KTL. Pouze u lepidla *Terostat 5196VW-25* byla odchylka hodnot získaných po KTL od hodnot po laboratorním vytvrzování poněkud větší, kdy laboratorní hodnoty vykazovaly vyšší pevnost než po KTL, ale u tohoto lepidla je, dle mého názoru, možné tyto podmínky pro testování použít.

Pouze u jediného ze čtyř zkoušených lepidel byly vyhodnoceny extrémní rozdíly v pevnosti v závislosti na teplotě a době vytvrzování. Bylo to u lepidla *Terostat 5196VW-25*, kdy teplota vytvrzování 160 °C je pro všechny doby vytvrzování naprosto nedostačující. Z toho vyplývá závěr, že u tohoto lepidla je důležité ze zvýšenou pozorností dbát na dodržování optimální doby a teploty vytvrzování. Je nutné provádět pravidelné kontroly pevnosti lepeného spoje, aby se zabránilo vytvoření spoje bez dostatečné pevnosti.

Ze získaných výsledků je patrné, že na výsledné pevnosti lepeného spoje má pro zkoumaná lepidla a rozsah parametrů vytvrzování větší vliv teplota vytvrzování a vliv doby vytvrzování je menší.

Obecně platí, že pro lepený spoj je nejvýhodnější kohezní druh porušení, kdy dochází k porušení uvnitř lepidla oproti adheznímu porušení, kdy je lepidlo odděleno od jednoho z povrchů substrátu. Adhezní druh porušení svědčí o nedokonalosti přilnutí lepidla k povrchu substrátu. V rámci experimentu na zkušebních vzorcích téměř k adheznímu porušení nedošlo a lze tedy říct, že teplota vytvrzování a doba vytvrzování neměly na typ porušení lepeného spoje výrazný vliv.

Proto aby bylo možné stanovit objektivní závěry o kvalitě pevnosti lepeného spoje, bylo by nutné provést řadu dalších zkoušek pevnosti lepeného spoje (např. stanovení pevnosti v odlupu, zkoušku rázové pevnosti atd.), které by doplnily informace potřebné k posouzení lepeného spoje jako celku. Je třeba závěrem také zdůraznit, že na vlastnosti lepeného spoje

mohou mít vliv i další faktory, které nebyly v této práci vyhodnocovány jako například druh a množství naneseného maziva, morfologie substrátu atd.

Pro použití lepených spojů je důležité nejprve zvážit, co od lepeného spoje očekáváme. Za jakých podmínek bude provozován nebo jakým podmínkám bude vystaven. Pak lze po správném zvolení lepidla a dodržení předepsaných technologických postupů očekávat kvalitní, bezpečný spoj po řadu let.

## **7. Literatura**

- [1] Peterka, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. SNTL Praha 1980.
- [2] Kovačič, L.: Lepenie kovov a plastov. SNTL Praha 1980.
- [3] Kašpar, Z.- Müller, M.: Teplota faktor ovlivňující proces lepení. Tématický magazín, Svařování – dělení – spojování materiálů, TM vydavatelství, Praha 5/2004, s. 30-31, ISSN 1212 - 4044.
- [4] Müller, M. – Brožek, M.: Technologie lepení. Tématický magazín, Svařování – dělení – spojování materiálů, TM vydavatelství, Praha 2/2004 s. 56-57, ISSN 1212 – 4044.
- [5] Hisem, P. – Elisová, L.: Základy technologie lepení. Tématický magazín, Lepidla - tmely - PU pěny - lepící pásy v praxi, TM vydavatelství, Praha 1/2003, s. 2-3, ISSN 1212 - 4044.
- [6] Krebs, J.: Teorie zpracování nekovových materiálů, VŠST Liberec, 1991 (skripta).
- [7] Lang, B.: Vliv teploty na pevnost lepeného spoje, Diplomová práce, TU Liberec 2006
- [8] Hisem, P. – Elisová, L.: Využití lepení ve stavbě automobilových karoserií. Tématický magazín, Svařování – dělení – spojování materiálů, TM vydavatelství, Praha 5/2003, s. 32-33, ISSN 1212 - 4044.
- [9] ČSN ISO 10365 – Označení hlavních typů porušení lepeného spoje. ČNI, Praha 1995.
- [10] Langmaier, F.: Adhese a adheziva. FT VUT Zlín 1999.
- [11] Komárek, Z.: Prehľad lepidiel. ALFA Bratislava 1987.
- [12] Informační materiály fy. ŠKODA-AUTO a.s.
- [13] Sobotka J.: Zhodnocení použití pevných a polotuhých mazadel v sériové výrobě při lisování výlisku karosářského typu, Diplomová práce, TU Liberec 2004.
- [14] Billy, J.: Trendy vývoja ocelových plechov pre ľahké automobilové konštrukcie, Hutnické listy č. 3, 1999, s.19-24.
- [15] PV 12.05 - Bestimmung der Zugscherfestigkeit für Bördelnaht und Strukturklebstoffe, Volkswagen AG, 2003.
- [16] Technický informační list: [www.Fuchs-oil.cz](http://www.Fuchs-oil.cz)



## **8. Seznam příloh**

- Příloha 1. Technický informační list lepidla Betamate 1496 V
- Příloha 2. Technický informační list lepidla SikaPower 490/7
- Příloha 3. Technický informační list lepidla Betaguard RB 10 BV SKODA
- Příloha 4. Technický informační list lepidla Terostat-5196VW-25
- Příloha 5. Technický informační list oleje ANTICORIT PL 3802-39 S
- Příloha 6. Grafická část
- Příloha 7. Tabulka – teplota vytvrzování - rozdíl mezi max. a min. pevností
- Příloha 8. Tabulka – doba vytvrzování –rozdíl mezi max. a min. pevností
- Příloha 9. Fotografická dokumentace porušení lepeného spoje  
(na přiloženém CD)
- Příloha 10. Protokoly o měření (na přiloženém CD)

## Technický informační list lepidla Betamate 1496 V

### Charakteristika:

Betamate 1496 je jednosložkové teplem vytvrditelné epoxidové lepidlo speciálně vyvinuté pro lepení automobilových karoserií. Toto lepidlo se užívá pro zvýšení trvanlivosti, odolnosti proti nárazu a tuhosti karosérie

### Vlastnosti:

- Výbornou přilnavost k ocelovým konstrukcím automobilu, včetně povrchově upravené oceli a hliníku s dobrou tolerancí vůči znečištění oleji a mazacími materiály.
- Zvyšuje tuhost karoserie a její stabilitu při nárazu.
- Vysokou vlastní stálost a vysokou stálost lepeného spoje.
- Ochraňuje kov a sváry před korozí.
- Je slučitelné s dalšími mechanickými i tepelnými metodami spojování dílů.
- Je odolné proti mytí a oděru a je slučitelné s elektrostatickými procesy.
- Je ho možné předvytvdřit.

### Technické údaje:

základ	epoxidová pryskyřice
barva	modrá
hustota	1,18 g/ml
obsah pevných složek	> 99%
viskozita	200Pa.s/80Pa
( 45 °C, Bohlin, Casson )	
bod vzplanutí ( DIN 51758 )	> 150 °C
podmínky vytvrzování	> 140 °C / 30 min
	standardní podmínky 180 °C /
30min	
pevnost v tahu ( DIN EN ISO 527-1)	35 MPa
tažnost (DIN EN ISO 527-1)	cca 10 %
E-modul (DIN EN ISO 527-1)	1500 Mpa
Smyková pevnost (DIN EN 1465)	30 MPa
( CRS 1403, 1,5 mm)	
Odolnost proti odlupování	4,6 N / mm

( DIN 53282 ), ( CRS 1403, 0,5 mm)

Odolnost proti odlupování při úderu ( ISO 11343)      45 N / mm

( CRS 1403, 1 mm, 23 °C, 2 m/s),

Příprava povrchu – přípravek je navržen jako odolný vůči znečištění povrchu

Oleji do 5 g/m<sup>2</sup>

## **Technický informační list lepidla SikaPower 490/7**

### **Charakteristika:**

SikaPower 490/7 je jednosložkové lepidlo, za tepla aplikované, vydrží vysoké teploty, je na epoxido-uretanové bázi. SikaPower 490/7 umožňuje strukturní spojení různých kovových částí. Lepidlo je vhodné k použití v kombinaci s bodovým svařováním, nýtováním a jiným mechanickým spojováním nebo jako částečná náhrada výše zmiňovaných spojení.

### **Vlastnosti:**

- Vysoce pevné lepidlo, které drží na olejovém podkladě
- Ochraňuje kov před korozí.
- Je vodě odolné.
- Je vhodné ke spojování rozdílných kovů.
- Neobsahuje žádná rozpouštědla, PVC.
- Nepoškozuje spojované díly.

### **Technické údaje:**

základ	epoxi-uretanová báze
barva	černá
obsah pevných složek	> 99%
hustota před / po vytvrzení	ca. 1,35 / 1,4 kg/l
Viskozita	ca.400 Pa.s
Doba tvrdnutí	30 min.při 180 °C

## **Technický informační list lepidla Betaguard RB 10 BV SKODA**

### **Charakteristika:**

Betaguard RB 10 BV byl vyvinut za účelem mechanického spojení dvou povrchů díky skelným částčkám, které způsobují přenos pevnosti do povrchů nezávisle na adhezivních složkách, které způsobují narušení povrchu. Betaguard má kaučukovitý základ, je to bodově svařitelná těsnicí hmota a vysoko pevnostní adhezivo, které je speciálně vyvinuté pro lepení karosérií, které nabízí dobrou adhezi vůči olejovým roztokům používaných v automobilovém průmyslu.

### **Technické údaje:**

chemický základ	syntetický kaučuk
barva	šedo-černá
hustota	1,4 g/cm <sup>3</sup>
obsah sušiny	> 99 %
viskozita	30 – 50 °C / min
pevnost po střihu 30'/180 °C (DIN 53 504)	> 11MPa
těsnění	dobré
odolnost proti korozi	dobrá
teplotní stabilita	max. 60 min. / 200 °C, kromě
kovového povlaku: 60 min. / 180 °C	

## Technický informační list lepidla Terostat – 5196VW-25

### Charakteristika:

Terostat-5196VW-25 je bezrozpouštědlové, reaktivní, strukturní lepidlo na kov na bázi kaučuku, které je za běžné teploty vysoce viskózní, za vyšší teploty měkne a nanáší se podle typu nanášecího zařízení a požadovaném množství za jednotku času při teplotách cca 20 °C až 40 °C. Při teplotách nad 140 °C Terostat-5196VW-25 chemicky polymeruje. Vytvrzený materiál je vysoce pevný a ohebný a velmi málo citlivý na změny teploty. Terostat-5196VW-25 má dobrou přilnavost i na zaolejovaných plechách. Materiál po nanesení nestéká a je bez předehtátí odolný vůči vymývání vodnými přípravky pro čištění nebo předúpravy, které se používají v pásové výrobě v autoprůmyslu. Lepidlo je dokonale kompatibilní i s elektroforetickými základovými laky, což zajišťuje dokonalou protikorozi ochranu i na rozhraních. Terostat-5196VW-25 je přelakovatelný.

### Použití:

Terostat-5196VW-25 byl vyvinut speciálně jako vysoce pevné lepidlo pro lepení automobilových karoserií. Používá se např. k lepení lemů a v kombinaci s bodovým svařováním. K vytvrzení dojde při průchodu suškou kataforézy. Terostat-5196VW-25 se používá především tam, kde je požadována vysoká odolnost vůči vymývání bez předželatiny.

### Technické údaje - v dodávaném stavu:

barva a zápach:	černá, charakteristický vlastní
hustota:	cca 1,4 g/cm <sup>3</sup>
sušina:	cca 99%
tlaková viskozita:	cca 2,5 g/min
měřicí přístroj:	extrusní viskozimetr
tryska:	Ø 2 mm
tlak:	4 bar
teplota:	20 °C
nestékavost:	
10 min při 23 °C:	nestéká
30 min při 180 °C	nestéká
teplota zpracování:	cca 20 °C až do max. 40

- **ve vytvrzeném stavu:**

pevnost ve smyku: (v uspořádání dle DIN EN 1465)

měřeno při 20 °C:  $\geq 12 \text{ MPa}^*$

měřeno při 80 °C:  $\geq 6 \text{ MPa}^*$

tloušťka vrstvy 0,2 mm

substráty: zaolejovaný plech: ocel elektrolyticky  
a žárově zinkovaný

změna objemu:  $<10\%^*$

odolnost vůči přetržení DIN53504:  $\geq 12 \text{ MPa}^*$

protažení k přetržení DIN 53504  $\geq 6 \text{ MPa}^*$

měna objemu:  $<10 \%^*$

vypalovací podmínky: 30 min 180 °C

teplota použití: -40 °C až 90 °C

krátkodobě (do 1 h): 200 °C

## **Technický informační list oleje ANTICORIT PL 3802-39 S**

### **Charakteristika:**

ANTICORIT PL 3802-39 S je olej typu Prelube, to znamená ochranný antikorozní olej i tvářecí mazivo pro použití v ocelárnách.

ANTICORIT PL 3802-39 S se vyznačuje následujícími speciálními vlastnostmi:

- bezpečná antikorozní ochrana i za extrémních klimatických podmínek,
- optimální tvářecí výkon i pro obtížné tahy,
- vhodnost pro zušlechtěné plechy (Z, ZE, ZNE, ZF, fosfátované i nefosfátované), jakož i pro normální ocelové plechy,
- snadná odstranitelnost i po stárnutí a tepelném zatížení,
- kompatibilita se všemi běžnými lepícími systémy při výrobě automobilů,
- vysoká snášlivost s katalytickými laky a laky s nízkým obsahem rozpouštědel a pigmentů,
- nezatěžuje pracovní prostředí díky základovému oleji bez obsahu těžkých kovů a halogenů a s nízkým obsahem aromátů.

ANTICORIT PL 3802-39 S se používá převážně jako konzervační olej v ocelárnách, může však být nanesen i jako tvářecí látka bezprostředně před tvářením.

### **Použití:**

Nanášení lze provádět všemi způsoby nástřiku (přednostně elektrostaticky) ale také naválcováním. Doporučená pracovní teplota pro nástřik a filtraci je 40 - 65 °C. Jako u všech tixotropních látek může dojít po delší době skladování k lehkému usazování látek, zajišťujících tixotropní účinky.

ANTICORIT PL 3802-39 S je skladovatelný v uzavřeném originálním balení při teplotě 5 - 40 °C minimálně 5 let.



## Technické údaje:

Vlastnosti	Jednotka	Údaje	Zkouška dle
Barva	-	3,5	DIN ISO 2049
Hustota při 15 °C	kg / m <sup>3</sup>	915	DIN 51 757
Viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> / s	60	DIN 51 562
Bod vzplanutí	°C	196	DIN ISO 2592
Obsah vody	%hmotnosti	< 0,2	DIN ISO 51 777-2
Odstranitelnost	-	vyhovuje	VW 52.02
Obsah aromátu v základovém oleji	%hmotnosti	< 7	Zkušební metoda VN čís. TML *)
Antikorozní vlastnosti ( St 1405 )			
Kondenzační komora	h	200	ATSM D 1748
Klimatická komora	Cykly	> 20	DIN 51 386-1
Solná komora	h	24	DIN 50 021 SS

\*) VM = zkušební metoda Vauxhall Motors Limited

### Grafická část

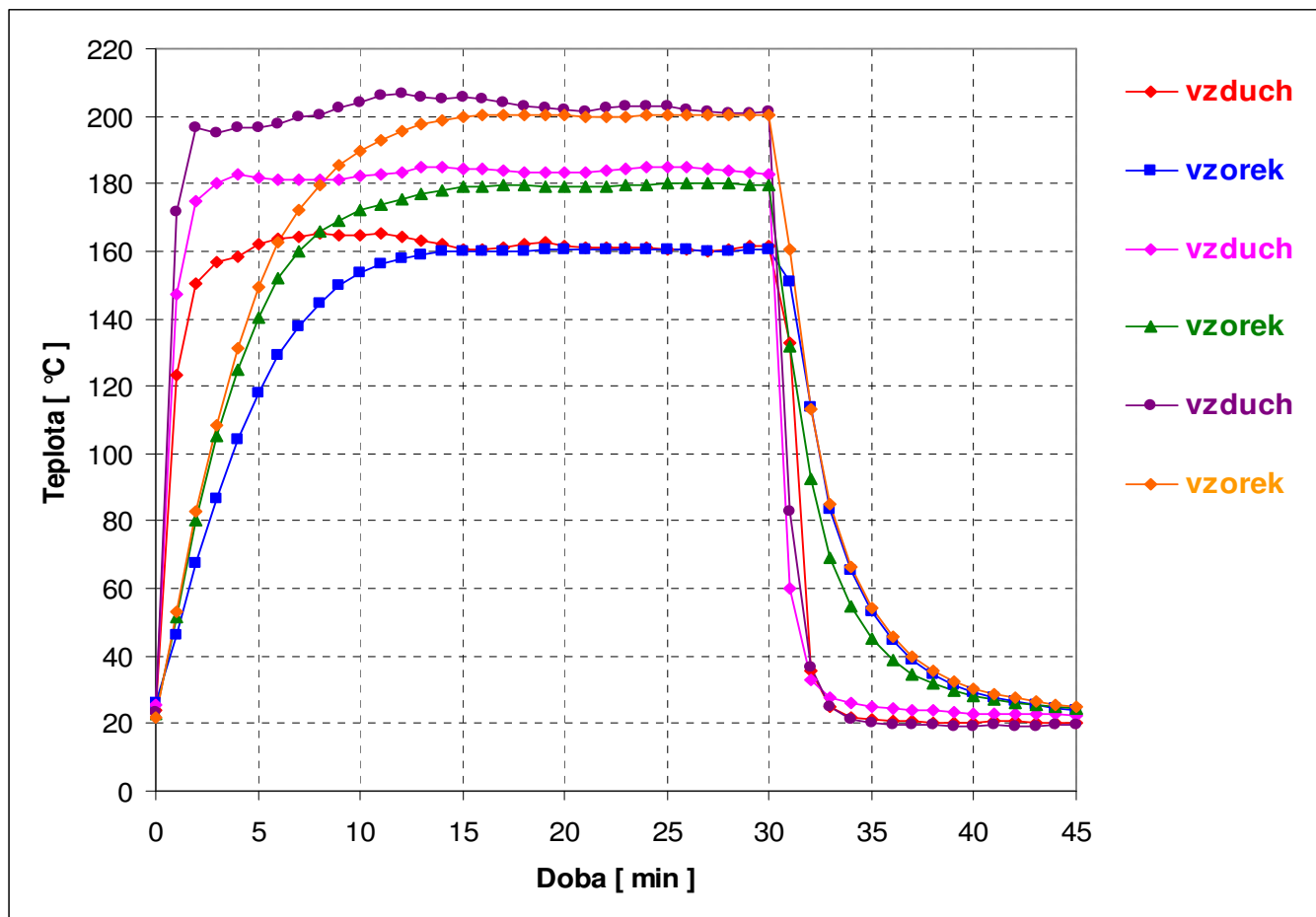
Tab.1.: Tabulka naměřených hodnot: teplota vytvrzování 160°C, 180°C a 200°C, doba vytvrzování 15 minut (vzorky označené žlutou barvou)  
– 1.část.

Doba [min]	Teplota vzduchu [°C]	Teplota vzorku [°C]	Teplota vzduchu [°C]	Teplota vzorku [°C]	Teplota vzduchu [°C]	Teplota vzorku [°C]
0	24,07	25,98	25,36	22,99	23,38	21,94
1	123,53	46,21	147,46	51,46	171,87	53,24
2	150,15	67,5	174,92	80,38	196,78	82,77
3	156,65	86,78	180,32	105,01	195,01	108,60
4	158,52	103,9	182,55	125,08	196,71	131,36
5	161,99	117,79	181,84	140,47	196,40	149,27
6	163,75	128,88	181,37	151,94	197,48	162,37
7	164,39	137,84	181,15	159,8	199,91	172,31
8	165,28	144,56	181,26	165,55	200,58	179,74
9	164,89	149,83	181,41	169,24	202,46	185,46
10	164,68	153,49	182,1	171,92	204,09	189,62
11	165,32	156,21	182,59	174	206,15	193,03
12	164,46	157,93	183,53	175,57	206,85	195,62
13	163,24	159,11	184,69	176,93	205,85	197,44
14	161,96	159,7	185,09	178,18	205,17	198,77
15	160,62	159,87	184,48	178,96	205,48	199,68
16	160,27	159,81	184,25	179,21	205,15	200,27
17	161,13	159,85	183,88	179,44	203,93	200,58
18	162,2	160,13	183,55	179,35	203,15	200,56
19	162,38	160,36	183,08	179,27	202,66	200,43
20	161,73	160,57	183,23	179,13	202,04	200,15
21	161,22	160,62	183,47	179,05	201,40	199,79
22	160,88	160,59	183,94	179,29	202,27	199,74
23	161,08	160,55	184,47	179,35	202,82	199,79
24	160,96	160,5	184,91	179,57	202,76	200,14
25	160,62	160,44	184,98	179,88	202,87	200,39
26	160,34	160,3	185,11	180,24	202,15	200,57
27	160,1	160,18	184,37	180,29	201,58	200,54
28	160,66	160,14	183,61	180,15	200,99	200,41
29	161,56	160,32	183,1	179,72	200,99	200,30
30	161,49	160,46	183,05	179,51	201,14	200,21
31	133,05	150,98	60,26	131,81	82,88	160,42
32	35,79	113,9	33,03	92,41	36,44	113,30
33	24,72	83,45	27,65	68,98	25,18	84,77
34	21,76	65,16	26,02	54,51	21,51	66,30

Tab.1.: Tabulka naměřených hodnot: teplota vytvrzování 160°C, 180°C a 200°C, doba vytvrzování 15 minut (vzorky označené žlutou barvou) – 1.část.

35	21	53,02	25,04	45,16	20,19	54,03
36	20,68	44,62	24,5	38,94	19,69	45,67
37	20,48	38,56	24,05	34,77	19,53	39,85
38	20,41	34,53	23,72	31,86	19,41	35,69
39	20,43	31,46	23,4	29,77	19,36	32,67
40	20,43	29,21	23,1	28,13	19,37	30,46
41	20,47	27,57	22,93	27,09	19,44	28,76
42	20,47	26,33	22,73	26,22	19,38	27,45
43	20,43	25,37	22,63	25,54	19,36	26,40
44	20,39	24,59	22,6	25,16	19,44	25,67
45	20,35	23,92	22,41	24,64	19,72	25,02

Graf 1.: Teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 15 minut (vzorky označené žlutou barvou) – 1.část



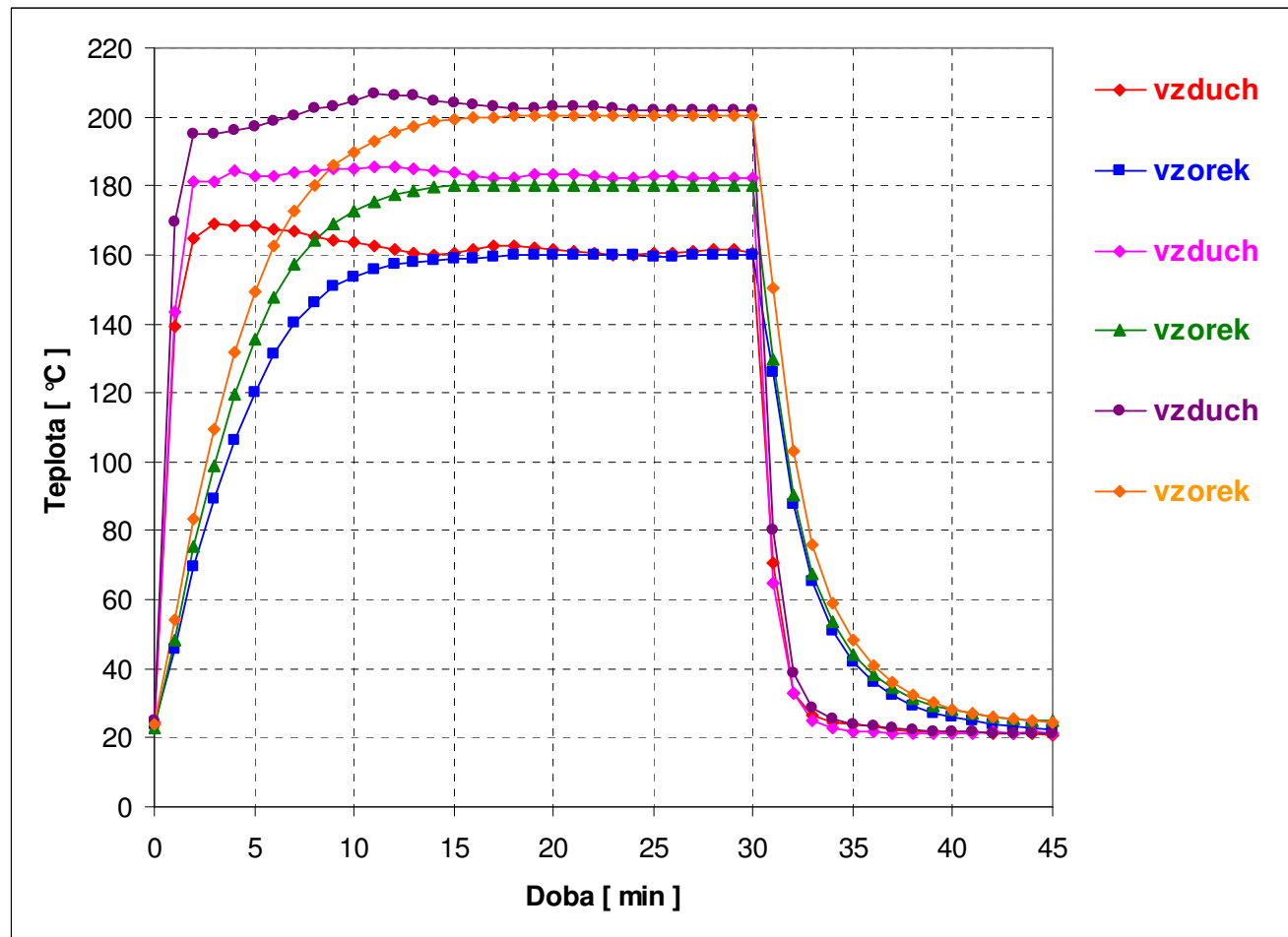
Tab. 2.: Tabulka naměřených hodnot: teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 15 minut (vzorky neoznačené) – 2.část

Doba [ min ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]
0	23,78	23,7	24,58	22,91	25,02	23,69
1	139,01	45,83	143,54	48,53	169,67	54,30
2	164,58	69,54	181,00	75,38	194,83	83,42
3	168,92	89,48	181,29	99,04	195,14	109,59
4	168,29	106,03	184,14	119,49	195,94	131,78
5	168,39	119,99	182,74	135,74	197,16	149,28
6	167,63	131,19	182,95	147,96	198,58	162,64
7	166,88	140,15	184,09	157,04	200,42	172,73
8	165,21	146,39	184,23	164,01	202,52	180,33
9	164,35	150,79	184,82	169,01	203,21	185,80
10	163,54	153,79	184,80	172,71	204,73	189,96
11	162,57	155,95	185,49	175,34	206,52	193,11
12	161,38	157,26	185,59	177,24	206,34	195,37
13	160,49	157,98	184,75	178,54	206,17	197,08
14	160,11	158,39	184,23	179,41	204,83	198,58
15	160,32	158,65	183,78	179,90	204,00	199,47
16	161,31	158,89	182,97	180,02	203,39	199,85
17	162,39	159,29	182,39	179,97	202,83	200,02
18	162,45	159,74	182,23	179,98	202,44	200,11
19	162,15	160,13	183,21	179,94	202,49	200,11
20	161,44	160,15	183,51	180,07	202,89	200,26
21	160,95	160,17	183,28	180,31	202,83	200,37
22	160,46	160,03	182,68	180,27	202,83	200,47
23	160,06	159,9	182,21	180,14	202,28	200,46
24	159,94	159,7	182,15	180,06	201,87	200,37
25	160,28	159,66	182,79	180,12	201,93	200,29
26	160,58	159,65	183,00	180,10	202,00	200,26
27	161,28	159,79	182,47	180,11	201,98	200,24
28	161,67	160	182,18	180,22	201,89	200,17
29	161,37	160,15	182,38	180,17	202,04	200,18
30	160,67	160,14	182,32	180,02	202,17	200,21
31	70,79	126,2	64,67	129,49	80,40	150,31
32	33,08	87,9	32,91	90,48	38,89	103,25
33	26,83	65,21	25,23	67,63	28,87	75,93
34	24,58	51,06	22,77	53,44	25,36	59,18
35	23,9	42,23	21,90	44,37	23,83	48,17
36	23,22	36,17	21,65	38,41	23,14	41,16
37	22,29	32,15	21,46	34,39	22,69	36,08

Tab. 2.: Tabulka naměřených hodnot: teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 15 minut (vzorky neoznačené) – 2.část

38	22,03	29,26	21,45	31,50	22,37	32,62
39	21,96	27,32	21,47	29,45	21,89	30,18
40	21,83	25,88	21,44	28,01	21,84	28,40
41	21,58	24,84	21,50	26,97	21,55	27,09
42	21,47	24,04	21,55	26,16	21,33	26,14
43	21,32	23,42	21,49	25,59	21,27	25,39
44	21,2	22,98	21,57	25,14	21,14	24,80
45	20,7	22,52	21,48	24,72	21,01	24,34

Graf 2.: 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 15 minut (vzorky neoznačené) – 2.část



Tab. 3.: Tabulka naměřených hodnot: teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 20 minut (vzorky označené žlutou barvou)  
– 1.část

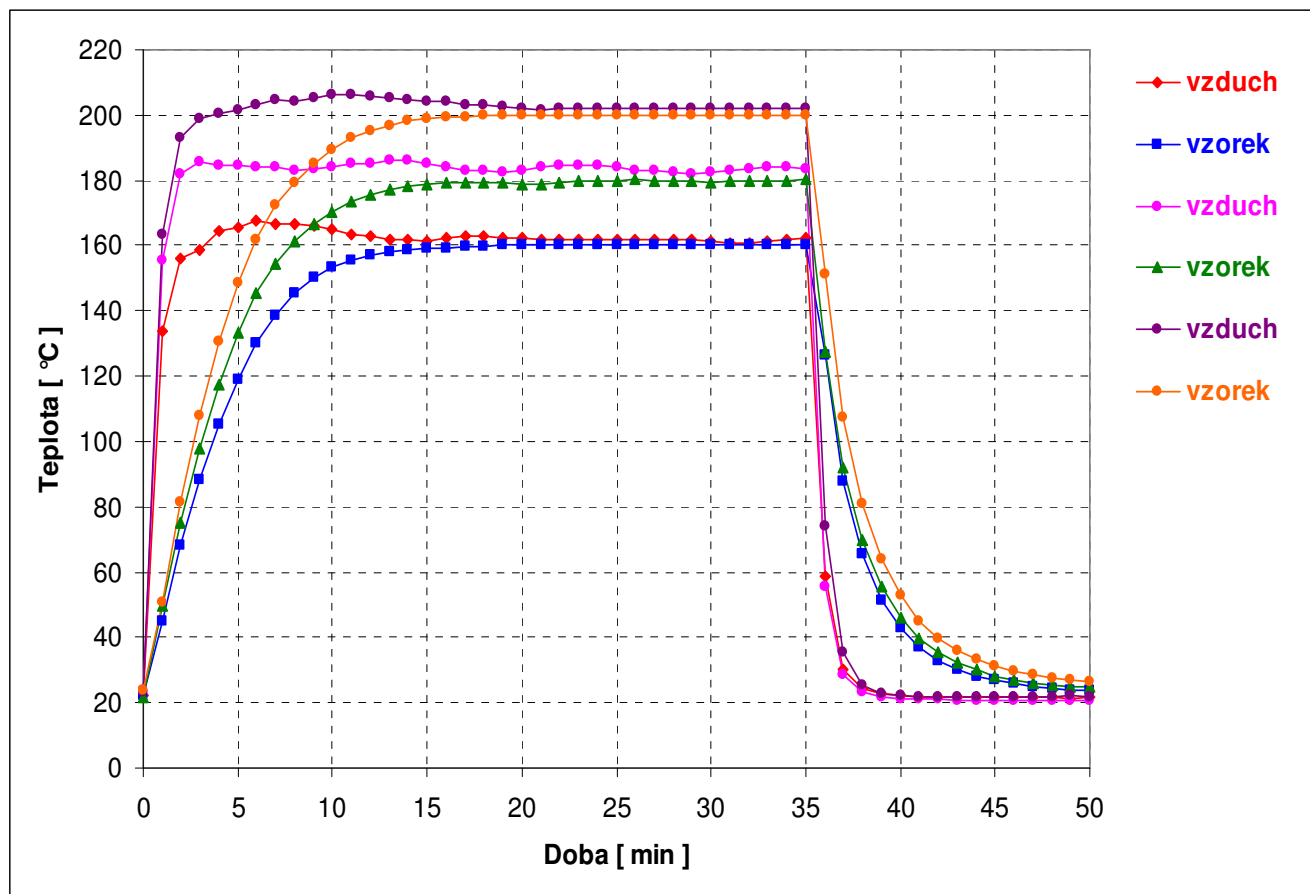
Doba [ min ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]
0	22,28	22,2	24,04	21,76	23,4	23,77
1	133,92	44,83	155,49	49,83	163,31	50,66
2	156,22	67,99	181,88	75,35	193,26	81,18
3	158,74	88,14	185,52	97,92	198,99	108,13
4	164,54	105,14	184,49	117,31	200,24	130,79
5	165,42	118,94	184,79	133,31	201,43	148,54
6	167,6	130,24	183,82	145,32	203,25	161,84
7	166,85	138,66	183,81	154,63	204,82	172,15
8	166,61	145,21	183,01	161,54	204,35	179,28
9	166,2	150,12	183,27	166,54	205,18	185,2
10	164,78	153,39	184,18	170,22	206,42	189,52
11	163,6	155,68	184,89	173,25	206,27	192,91
12	162,65	157,24	185,22	175,45	205,86	195,31
13	162,07	158,11	186,13	176,97	205,27	196,79
14	161,71	158,64	186,33	178,35	204,89	198,11
15	161,24	158,95	185,16	178,83	204,35	198,81
16	162,17	159,23	184,03	179,36	203,89	199,37
17	162,94	159,59	183,21	179,45	203,33	199,61
18	162,86	159,87	182,85	179,29	202,9	199,76
19	162,58	160,07	182,55	179,05	202,45	199,86
20	162,19	160,2	182,97	178,96	202,04	199,8
21	161,81	160,19	183,85	178,90	201,74	199,65
22	161,63	160,23	184,44	179,21	202,03	199,64
23	161,81	160,21	184,82	179,73	202,01	199,64
24	161,98	160,24	184,52	180,02	202,05	199,69
25	161,76	160,24	183,94	180,04	202	199,76
26	161,8	160,31	183,16	180,17	202,01	199,75
27	161,87	160,29	182,85	179,93	202,03	199,83
28	162,05	160,35	182,32	180,04	202,16	199,89
29	161,62	160,33	181,94	179,77	202,21	199,92
30	161,16	160,3	182,21	179,52	202,14	199,95
31	160,77	160,11	182,81	179,57	202,19	199,99
32	160,88	160,02	183,47	179,79	202,13	200,01
33	161,43	159,99	183,93	179,76	202,18	200,03
34	161,81	160,06	183,81	179,76	202,21	200,05
35	162,18	160,2	183,57	180,18	202,14	200,02
36	58,78	126,63	55,27	127,51	74,26	151,34



Tab. 3.: Tabulka naměřených hodnot: teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 20 minut (vzorky označené žlutou barvou)  
– 1.část

37	30,03	87,95	28,76	92,08	35,48	107,2
38	24,08	65,39	23,19	70,05	25,5	80,95
39	22,56	51,49	21,68	55,56	22,72	63,99
40	21,96	42,66	21,17	46,11	22,09	52,78
41	21,68	36,83	20,97	39,74	21,51	45,16
42	21,63	32,88	20,96	35,31	21,68	39,9
43	21,63	30,19	20,82	32,19	21,74	36,05
44	21,57	28,25	20,84	29,91	21,61	33,25
45	21,54	26,81	20,80	28,24	21,52	31,26
46	21,53	25,8	20,83	27,02	21,54	29,73
47	21,45	24,95	20,83	26,12	21,62	28,55
48	21,44	24,34	20,83	25,40	21,55	27,66
49	21,41	23,92	20,83	24,86	22,01	26,9
50	21,45	23,62	20,75	24,65	21,56	26,31

Graf 3.: Teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 20 minut (vzorky označené žlutou barvou) – 1.část



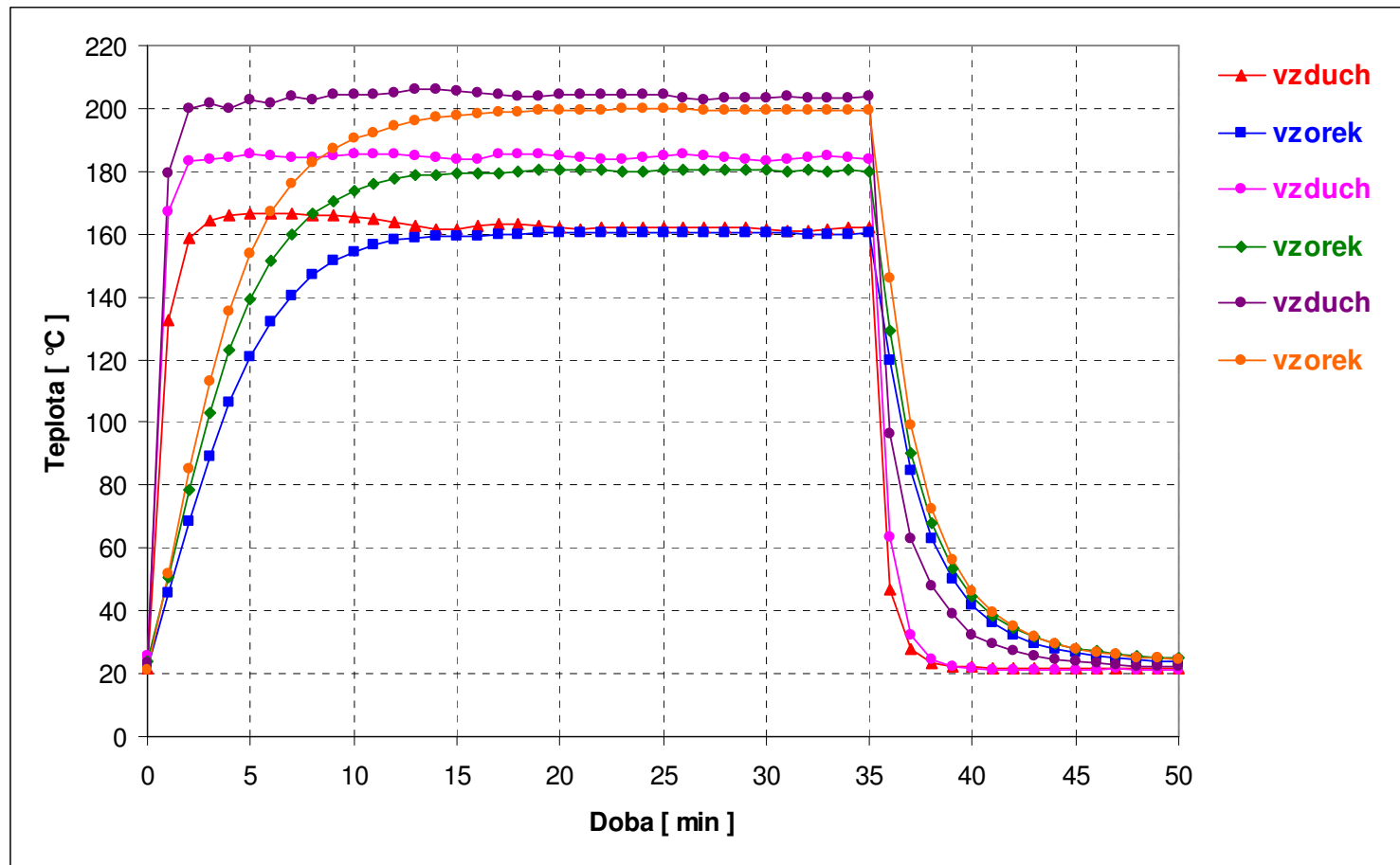
Tab. 4.: Tabulka naměřených hodnot: teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 20 minut (vzorky neoznačené) – 2.část

Doba [ min ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]
0	21,98	21,92	25,74	24,21	23,66	20,91
1	132,71	45,57	166,95	50,87	179,17	52,07
2	158,87	68,57	183,25	78,55	199,85	85,13
3	164,44	89,24	184,03	103,24	201,35	113,12
4	166,12	106,38	184,48	123,25	199,82	135,57
5	166,47	120,87	185,50	139,22	202,72	153,86
6	166,67	131,92	185,04	151,25	201,74	166,95
7	166,29	140,53	184,55	159,92	203,80	176,05
8	166,10	146,80	184,47	166,31	202,94	182,44
9	165,83	151,32	184,72	170,70	204,39	187,14
10	165,59	154,50	185,20	173,75	204,52	190,24
11	164,98	156,67	185,44	175,90	204,33	192,37
12	163,79	158,15	185,23	177,40	204,85	194,34
13	162,39	158,89	185,09	178,51	206,13	195,96
14	161,26	159,24	184,51	179,01	205,95	196,95
15	161,26	159,30	183,68	179,28	205,50	197,97
16	162,66	159,48	183,97	179,44	205,13	198,44
17	163,15	159,77	185,30	179,57	204,33	198,85
18	163,05	160,03	185,70	179,95	203,96	199,08
19	162,40	160,15	185,40	180,29	203,85	199,17
20	162,05	160,26	184,81	180,38	204,32	199,46
21	161,73	160,21	184,18	180,38	204,17	199,51
22	162,02	160,21	183,72	180,24	204,19	199,67
23	161,96	160,18	183,75	180,06	204,39	199,69
24	161,99	160,24	184,23	179,92	204,26	199,82
25	162,07	160,26	184,92	180,28	204,32	199,87
26	162,07	160,30	185,30	180,28	203,49	199,77
27	162,16	160,29	185,03	180,58	203,00	199,61
28	162,08	160,29	184,17	180,46	203,27	199,58
29	161,87	160,36	183,70	180,48	203,48	199,55
30	161,41	160,31	183,41	180,18	203,52	199,62
31	161,04	160,22	183,64	180,06	203,88	199,57
32	160,94	160,11	184,33	180,21	203,48	199,56
33	161,62	160,00	184,72	180,08	203,26	199,48
34	162,18	160,07	184,29	180,30	203,50	199,54
35	162,24	160,23	183,74	180,15	203,93	199,61
36	46,82	119,70	63,69	129,21	96,36	145,80
37	28,07	84,39	32,35	90,43	63,02	99,28

Tab. 4.: Tabulka naměřených hodnot: teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 20 minut (vzorky neoznačené) – 2.část

38	23,55	63,18	24,42	67,74	48,09	72,40
39	22,29	50,11	22,35	53,57	38,91	56,32
40	22,02	41,72	21,73	44,48	32,53	46,27
41	21,79	36,15	21,44	38,52	29,66	39,35
42	21,74	32,39	21,28	34,41	27,15	34,84
43	21,71	29,79	21,31	31,54	25,71	31,64
44	21,71	27,98	21,22	29,49	24,71	29,51
45	21,63	26,70	21,26	28,08	23,93	27,93
46	21,71	25,77	21,18	27,02	23,29	26,78
47	21,72	25,00	21,69	26,23	22,98	25,95
48	21,69	24,50	21,35	25,67	22,48	25,28
49	21,73	24,03	21,27	25,24	22,45	24,81
50	21,73	23,73	21,25	24,89	22,16	24,47

Graf 4.: Teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 20 minut (vzorky neoznačené) – 2.část



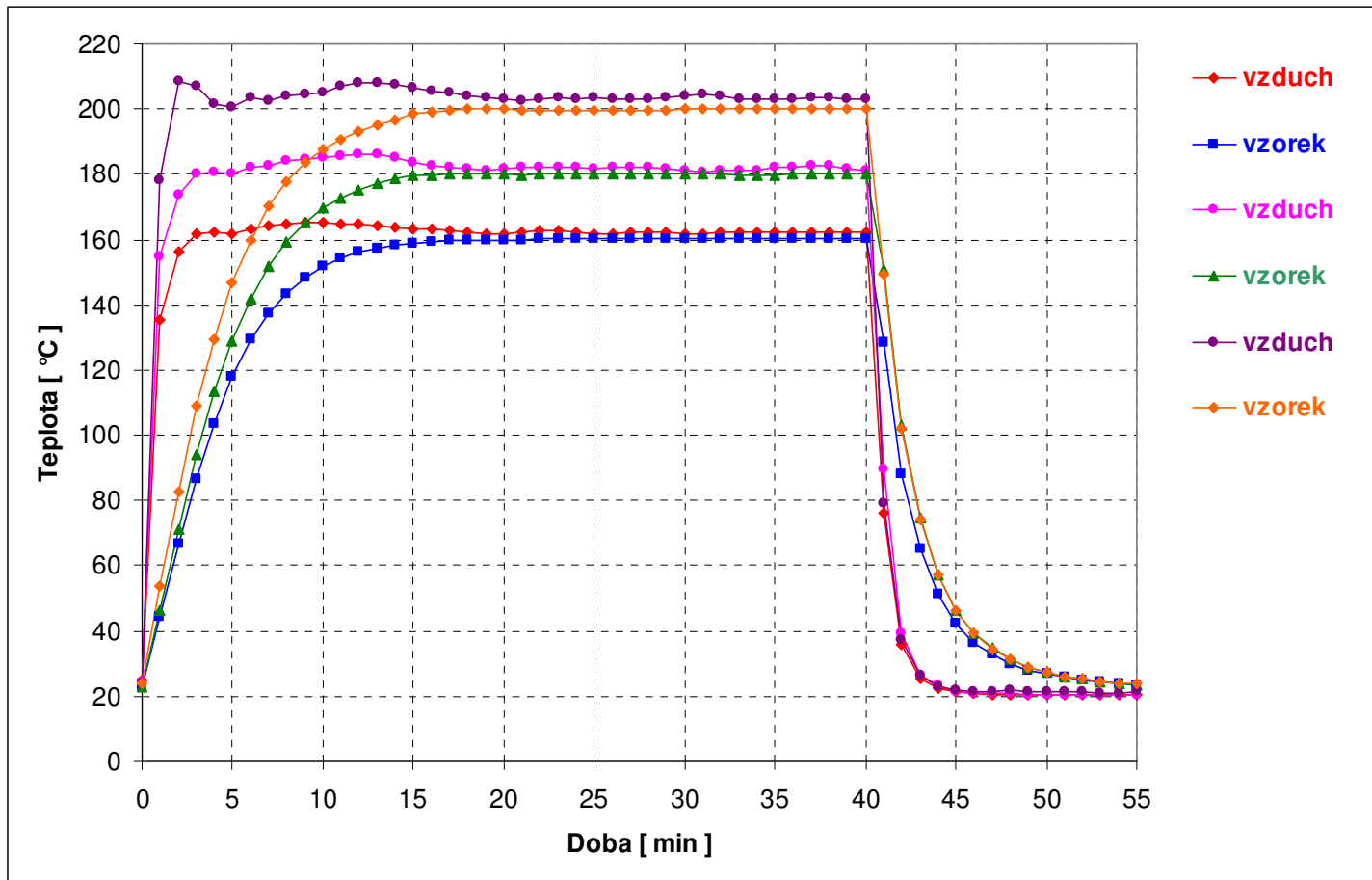
Tab. 5.: Tabulka naměřených hodnot: teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 25 minut (vzorky označené žlutou barvou)  
– 1.část

Doba [ min ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]
0	24,99	23,06	24,57	23,13	23,91	23,86
1	135,29	44,25	155,01	46,44	178,04	53,75
2	156,23	66,73	173,67	71,05	208,67	82,63
3	161,52	86,42	180,09	94,09	207,1	108,8
4	162,24	103,73	180,50	113,38	201,38	129,52
5	161,76	117,98	180,41	129,05	200,7	146,69
6	163,49	129,17	181,96	142,03	203,33	160,01
7	164,41	137,31	182,54	151,92	202,56	170,19
8	164,77	143,36	184,10	159,31	204,05	177,86
9	165,21	148,21	184,90	165,12	204,66	183,56
10	165,19	151,64	185,09	169,54	204,95	187,51
11	164,98	154,13	185,70	172,85	207,17	190,84
12	164,84	156,13	186,21	175,39	208,22	193,32
13	164,27	157,43	186,36	177,33	208,17	195,23
14	163,80	158,37	185,19	178,74	207,75	196,78
15	163,27	158,97	183,72	179,47	206,64	198,42
16	163,13	159,52	182,68	179,87	205,57	199,31
17	162,65	159,79	182,27	180,00	204,88	199,83
18	162,23	159,86	181,51	179,99	204,14	200,11
19	161,87	159,90	181,16	180,01	203,47	200,09
20	161,63	159,82	181,55	179,98	203,07	199,99
21	162,22	159,94	182,00	179,83	202,73	199,83
22	162,82	160,07	182,02	180,01	203,26	199,73
23	162,61	160,12	182,01	180,12	203,39	199,63
24	162,14	160,16	181,94	180,17	203,18	199,6
25	161,71	160,10	181,83	180,22	203,35	199,65
26	161,92	160,07	182,08	180,24	203,11	199,57
27	162,03	160,12	181,99	180,31	203,2	199,59
28	162,09	160,08	182,03	180,29	203,27	199,54
29	162,09	160,14	181,53	180,26	203,61	199,61
30	161,95	160,07	180,97	180,26	204,13	199,88
31	161,92	160,03	180,75	180,13	204,72	200,18
32	162,20	160,18	181,13	179,94	204,05	200,28
33	162,25	160,26	181,02	179,84	203,23	200,31
34	162,24	160,36	181,30	179,89	203,03	200,21
35	162,12	160,29	181,96	179,90	203,23	200,14
36	162,04	160,21	182,30	180,14	203,24	200,1

Tab. 5.: Tabulka naměřených hodnot: teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 25 minut (vzorky označené žlutou barvou)  
– 1.část

37	162,09	160,22	182,64	180,27	203,46	200,04
38	162,09	160,21	182,49	180,28	203,39	199,98
39	162,16	160,34	181,79	180,33	203,29	199,98
40	162,18	160,40	181,26	180,34	203,3	199,95
41	75,99	128,28	89,37	150,63	79,02	149,55
42	35,74	88,02	39,45	103,04	37,09	102,21
43	25,57	65,14	26,51	74,81	26,27	74,08
44	22,24	51,14	23,26	57,43	22,96	57,03
45	21,24	42,32	21,65	46,51	21,8	46,22
46	20,76	36,52	21,10	39,47	21,61	39,19
47	20,57	32,65	20,91	34,65	21,58	34,55
48	20,50	29,94	20,74	31,37	21,76	31,25
49	20,55	28,11	20,63	29,05	21,56	28,9
50	20,55	26,73	20,49	27,37	21,52	27,34
51	20,64	25,69	20,40	26,12	21,52	26,11
52	20,59	24,94	20,44	25,26	21,16	25,2
53	20,60	24,39	20,37	24,54	21,11	24,56
54	20,53	23,98	20,28	24,04	21,12	24,07
55	20,49	23,52	20,32	23,64	21,42	23,69

Graf 5.: Teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 25 minut (vzorky označené žlutou barvou) – 1.část





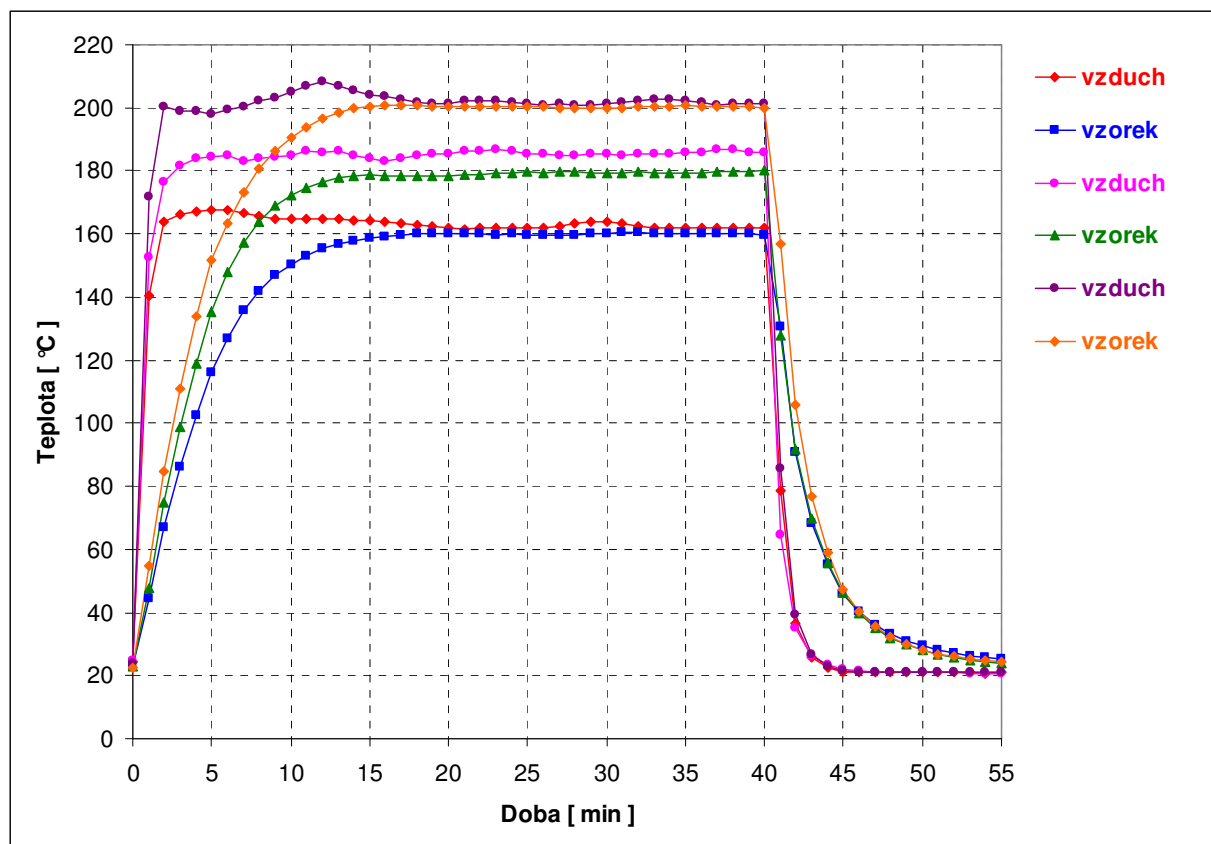
Tab. 6.: Tabulka naměřených hodnot: teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 25 minut (vzorky neoznačené) – 2.část

Doba [ min ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]	Teplota vzduchu [ °C ]	Teplota vzorku [ °C ]
0	24,43	22,75	24,95	22,85	23,99	22,35
1	140,62	44,51	152,49	47,73	171,75	54,67
2	163,71	67,05	176,30	74,82	200,14	84,6
3	166,26	86,12	181,56	98,82	198,98	111,02
4	167,03	102,54	184,03	119,12	198,74	133,83
5	167,70	116,09	184,44	135,34	197,94	151,77
6	167,72	127,08	184,82	147,93	199,29	163,59
7	166,44	135,73	183,17	157,08	200,25	173,41
8	165,77	141,98	183,94	163,97	202,38	180,75
9	164,92	146,77	184,54	168,84	202,92	186,27
10	164,67	150,43	185,07	172,28	205,04	190,51
11	164,92	153,07	186,14	174,77	206,94	193,82
12	164,94	155,24	186,03	176,56	208,13	196,48
13	164,64	156,81	186,17	177,74	206,7	198,34
14	164,33	157,93	185,09	178,42	205,47	199,72
15	164,20	158,77	184,14	178,71	204,29	200,41
16	163,77	159,34	183,24	178,56	203,4	200,77
17	163,20	159,68	183,90	178,41	202,61	200,83
18	162,93	159,88	184,87	178,33	201,93	200,76
19	162,50	159,97	185,22	178,42	201,34	200,52
20	162,08	159,98	185,55	178,49	201,38	200,34
21	161,62	159,99	186,07	178,70	202,11	200,36
22	161,78	159,92	186,29	178,84	202,39	200,41
23	162,03	159,82	186,85	179,44	202,2	200,45
24	162,17	159,93	186,19	179,37	201,7	200,44
25	162,08	159,75	185,52	179,56	201,06	200,25
26	162,16	159,77	185,34	179,50	200,87	200,14
27	162,63	159,77	184,97	179,65	201,08	200
28	163,23	159,80	185,02	179,57	201,03	199,91
29	163,66	159,98	185,27	179,51	201,02	199,86
30	163,76	160,28	185,15	179,35	201,25	199,84
31	163,23	160,46	185,08	179,31	201,66	199,91
32	162,62	160,36	185,46	179,55	202,23	200,12
33	162,18	160,26	185,29	179,16	202,63	200,36
34	161,98	160,19	185,38	179,10	202,6	200,55
35	162,19	160,04	185,68	179,43	202,23	200,63
36	162,18	159,95	186,05	179,30	201,62	200,53
37	162,02	159,93	186,88	179,55	200,9	200,35

Tab. 6.: Tabulka naměřených hodnot: teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 25 minut (vzorky neoznačené) – 2.část

38	162,02	159,93	186,77	179,75	201,27	200,21
39	161,95	159,86	186,03	179,90	201,19	200,12
40	162,08	159,75	185,62	180,05	201,1	200,02
41	78,69	130,57	64,36	127,67	85,81	156,62
42	36,31	90,93	35,02	91,62	39,48	106
43	25,60	68,51	26,12	69,80	26,65	76,61
44	22,38	55,06	23,24	55,66	22,79	58,75
45	21,25	46,08	21,95	46,22	21,55	47,47
46	20,96	40,26	21,44	39,76	21,23	40,27
47	20,84	36,12	21,21	35,25	21,21	35,46
48	20,86	33,11	21,13	31,99	21,1	32,13
49	20,90	30,95	21,08	29,74	21,22	29,81
50	20,89	29,33	20,95	27,99	21,11	28,13
51	20,89	28,09	20,96	26,73	21,1	26,9
52	20,84	27,12	20,94	25,71	21,12	26,01
53	21,03	26,41	20,72	24,95	21,1	25,37
54	20,83	25,76	20,76	24,40	21,01	24,87
55	20,86	25,34	20,69	23,88	21,11	24,49

Graf 6 : Teplota vytvrzování 160 °C, 180 °C a 200 °C, doba vytvrzování 25 minut (vzorky neoznačené) – 2.část



**Tabulky – teplota vytvrzování - rozdíl mezi max. a min. pevností**

Tab. 7: Lepidlo Betamate 1496

<b>Betamate 1496 V</b>				
Substrát	Minimální pevnost [MPa]	Maximální pevnost [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [%]
EG+S250	22,58	23,56	0,98	4,16
HDG	22,88	24,19	1,31	5,42
HDG+NIT	21,07	22,47	1,40	6,23
EG+PH	20,98	23,06	2,08	9,02

Tab. 8: Lepidlo Sikapower 490/7

<b>SikaPower 490/7</b>				
Substrát	Minimální pevnost [MPa]	Maximální pevnost [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [%]
EG+S250	20,20	23,15	2,95	12,74
HDG	19,89	23,48	3,59	15,29
HDG+NIT	18,35	21,79	3,44	15,79
EG+PH	18,94	22,09	3,15	14,26

Tab. 9: Lepidlo Betaguard RB 10 BV ŠKODA

<b>Betaguard RB 10 BV ŠKODA</b>				
Substrát	Minimální pevnost [MPa]	Maximální pevnost [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [%]
EG+S250	14,36	16,64	2,28	13,70
HDG	14,00	15,22	1,22	8,06
HDG+NIT	12,95	14,47	1,52	10,50
EG+PH	13,11	14,59	1,48	10,14

Tab. 10: Lepidlo Terostat 5196 VW-25

<b>Terostat 5196 VW-25</b>				
Substrát	Minimální pevnost [MPa]	Maximální pevnost [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [%]
EG+S250	2,71	20,18	17,47	86,57
HDG	2,47	20,35	17,88	87,86
HDG+NIT	2,28	18,25	15,97	87,51
EG+PH	2,85	17,24	14,39	83,47

**Tabulky – doba vytvrzování – rozdíl mezi max. a min. pevností**

Tab. 11: Lepidlo Betamate 1496 V

<b>Betamate 1496 V</b>					
Substrát	Teplota vytvrzování [°C]	Minimální pevnost [MPa]	Maximální pevnost [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [%]
EG+S250	160	22,58	23,01	0,43	1,87
	180	23,07	23,56	0,49	2,08
	200	22,89	23,16	0,27	1,17
HDG	160	22,88	23,46	0,58	2,47
	180	23,74	24,19	0,45	1,86
	200	23,22	23,39	0,17	0,73
HDG+NIT	160	21,82	22,41	0,59	2,63
	180	22,17	22,47	0,30	1,34
	200	21,07	21,70	0,63	2,90
EG+PH	160	22,07	22,50	0,43	1,91
	180	22,90	23,06	0,16	0,69
	200	20,98	22,20	1,22	5,50

Tab. 12: Lepidlo SikaPower 490/7

<b>SikaPower 490/7</b>					
Substrát	Teplota vytvrzování [°C]	Minimální pevnost [MPa]	Maximální pevnost [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [%]
EG+S250	160	20,20	21,51	1,31	6,09
	180	22,54	22,94	0,40	1,74
	200	22,80	23,15	0,35	1,51
HDG	160	19,89	21,25	1,36	6,40
	180	22,26	23,37	1,11	4,75
	200	22,67	23,48	0,81	3,45
HDG+NIT	160	18,35	20,09	1,74	8,66
	180	21,51	21,57	0,06	0,28
	200	21,34	21,79	0,45	2,07
EG+PH	160	18,94	20,61	1,67	8,10
	180	21,88	21,98	0,10	0,45
	200	21,90	22,09	0,19	0,86

Tab. 13: Lepidlo RB 10 BV SKODA

<b>Betaguard RB 10 BV SKODA</b>					
Substrát	Teplota vytvrzování [°C]	Minimální pevnost [MPa]	Maximální pevnost [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [%]
EG+S250	160	14,36	14,99	0,63	4,20
	180	15,50	15,81	0,31	1,96
	200	16,38	16,41	0,03	0,18
HDG	160	14,00	14,67	0,67	4,57
	180	14,99	15,22	0,23	1,51
	200	14,77	15,16	0,39	2,57
HDG+NIT	160	12,95	14,24	1,29	9,06
	180	14,07	14,47	0,40	2,76
	200	13,95	14,12	0,17	1,20
EG+PH	160	13,85	14,59	0,74	5,07
	180	13,75	14,39	0,64	4,45
	200	13,11	13,29	0,18	1,35

Tab. 14: Lepidlo Terostat 5196 VW-25

<b>Terostat 5196 VW-25</b>					
Substrát	Teplota vytvrzování [°C]	Minimální pevnost [MPa]	Maximální pevnost [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [MPa]	Rozdíl mezi max. a min. pevností v [%]
EG+S250	160	2,71	4,24	1,53	36,08
	180	15,53	16,92	1,39	8,22
	200	19,5	20,18	0,68	3,37
HDG	160	2,47	4,47	2,00	44,74
	180	14,12	17,89	3,77	21,07
	200	19,56	20,35	0,79	3,88
HDG+NIT	160	2,28	4,45	2,17	48,76
	180	15,76	16,68	0,92	5,52
	200	17,58	18,25	0,67	3,67
EG+PH	160	2,85	4,46	1,61	36,10
	180	14,88	15,99	1,11	6,94
	200	16,7	17,24	0,54	3,13

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. O právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce s konzultantem.

Datum

Podpis



## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date

Signature